

ISSN 2521-6376

Volume 6
Number 2
2022

Journal of Baku Engineering University

MECHANICAL
AND INDUSTRIAL
ENGINEERING

Journal is published twice a year
Number-1. June, Number-2. December

An International Journal

<http://journal.beu.edu.az>

Founder

Havar Mammadov

Editor-in-chief

Huseyn Mirzeyev

Co - Editor

Asif Quliyev, Vuqar Muradov

Editorial advisory board

Amrulla Agamaliyev (Baku State University, Azerbaijan)
Anatoliy Palmov (Sank- Petersburg Technical University, Russia)
Igor Kiyko (Moscow State University, Russia)
Ismail Fidan (USA, Tennessee, Technical University)
Gelani Panahov (National Academy of Science, Azerbaijan)
Garib Murshudov (York Academy, UK, London)

Hamed Sari-Sarraf (Texas Technik University, USA)
Mugammed Mehdiyev (Baku State University, Azerbaijan)
Suleyman Karadeniz (Turkey , 9 Eylul University)
Remzi Varal (Suleyman Demirel University, Turkey)
Vladimir Gudramovic (Dnepropetrovsk State University, Ukraine)
Vagif Mirsalimov (Azerbaijan Technical University, Azerbaijan)

International Advisory board

Abdullah Sofiyev (Suleyman Demirel University, Turkey)
Abusamat Abusattarov (Uzbekistan, Tashkent State University)
Ertugrul Durak (Turkey, Suleyman Demirel University)
Fatih Oncul (USA, Southern Polytechnic State University)
Fuad Latifov (Azerbaijan, National Academy of Science)
Latif Talibli (Azerbaijan, Azerbaijan National Aviation Academy)
Musa Ilyasov (Azerbaijan, Azerbaijan National Aviation Academy)
Mustafa Toparli (Turkey, Dokuz Eylul University)
Nariman Rasulov (Azerbaijan, Azerbaijan Technical University)
Nikolay Leontyev (Russia, Moscow State University of Civil Engineering)
Rudolf Bergman (Israel, Tel-Aviv University)

Shakir Mammadov (Azerbaijan, Azerbaijan University of Architecture and Construction)
Sunkay Akbarov (Yildiz Technical University, Turkey)
Tarik Chakar (Turkey, Sakarya University)
Telman Alimjanov (Kazakhstan, Alma-Ata State University)
Ugurlu Nadirov (Azerbaijan, Azerbaijan Technical University)
Vagif Hacıyev (Azerbaijan, National Academy of Science)
Vitali Paymushin (Tataristan, Kazan Aviation Academy)
Vladimir Gudramovich (Ukraine, Dnepropetrovsk State University)
Vladimir Starovoytov (Belarus, Minsk State University)
Yuri Konoplyov (Tataristan, Kazan State University)
Ziraddin Mammadov (Turkey, Harran University)

Executive Editors

Shafag Alizade

Assistant Editors

Parviz Hasanov
Gulnara Akhverdiyeva

Design

Ilham Aliyev

Contact address

Journal of Baku Engineering University
AZ0102, Khirdalan city, Hasan Aliyev str. 120, Absheron, Baku, Azerbaijan

Tel: 00 994 12 - 349 99 66/78 **Fax:** 00 994 12 349-99-90/91

e-mail: journal@beu.edu.az

web: <http://journal.beu.edu.az>

facebook: [Journal Of Baku Engineering University](#)

Copyright © Baku Engineering University

ISSN 2521-6376

ISSN 2521-6376



Journal of Baku Engineering University

**MECHANICAL AND
INDUSTRIAL ENGINEERING**

Baku - AZERBAIJAN

Journal of Baku Engineering University

MECHANICAL AND INDUSTRIAL ENGINEERING

2022. Volume 6, Number 2

CONTENTS

BOYUNA ƏYİLMƏYƏ DEFORMASIYASINA MƏRUZ QALAN MİLLƏRDƏ ƏYİNTİNİN TAQUÇI METODU İLƏ EKSPERİMENTAL TƏDQIQI <i>Hüseyn Mirzəyev, Natiq Rzayev</i>	59
BORU KƏMƏRLƏRİNDƏ BAĞLAYICI ARMATURLARININ İSTİSMARI EFFEKTİVLİYİNİN ARTIRILMASI <i>Quliyev A.H., Axundov E.F., Əsədzadə S.R., Nəcəfov S.M.</i>	67
MAQNEZİUM VƏ ALÜMİNİUM ƏRİNTİLƏRİNİN MEXANİKİ XASSƏLƏRİNİN TERMOMEXANİKİ EMALLA YÜKSƏLDİLMƏSİNİN TƏDQIQI <i>Vurğun Qəhrəmanov, Rza Quluzadə</i>	73
QEYRİ-BİRCİNS VƏ ANİZOTROP MÜHİTLİ İFRAT YÜKSƏK TEZLİKLİ DALĞAÖTÜRƏN SİSTEMİN MODELLEŞDİRİLMƏSİ <i>Əli Xəlilov</i>	80
СВОЙСТВА ВУЛКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА В ПРИСУТСТВИИ ГАЛОГЕНМЕТИЛ СОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ <i>Г.Г.Азизова, С.С.Машиаева, Ф.А.Амирова, И.Г.Мовлаев, Г.А.Мамедова, Д.Ш.Мамедов, С.А.Валиева, Ш.М.Мамедов</i>	95
СВОЙСТВА ТРОЙНЫХ СОПОЛИМЕРОВ - СТИРОЛ-БУТАДИЕН-МЕТАКРИЛОВАЯ КИСЛОТА <i>Ахундов И.А.</i>	102
SAMUR ABŞERON KANALININ (SAK) BAŞ DURULDUCUSUNUN İSTİSMARININ TƏDQIQI <i>C.Z.Vəliyev, N.S.Mustafayev</i>	116
ФОРМУЛА, КОТОРАЯ ПОЗВОЛЯЕТ ОПРЕДЕЛИТЬ КОРРОЗИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ <i>Хиджран А.Маммадова</i>	122
QUDİYALÇAY HİDROQOVŞAĞININ İSTİSMARININ TƏDQIQI <i>C.Z.Vəliyev, R.R.Əliyev</i>	127

UOT 620.173

BOYUNA ƏYİLMƏYƏ DEFORMASIYASINA MƏRUZ QALAN MİLLƏRDƏ ƏYİNTİNİN TAQUÇI METODU İLƏ EKSPERİMENTAL TƏDQIQI

Hüseyn MİRZƏYEV, Natiq RZAYEV

Bakı Mühəndislik Universiteti

*humirzeyev@beu.edu.az, nrzayev@beu.edu.az***XÜLASƏ**

Məqalədə laboratoriya şəraitində polad millərin boyuna əyilmə təcrübəsi aparılmış və alınan nəticələr analiz edilmişdir. Eksperimentin planlaşdırılmasında və alınan nəticələrin riyazi-statistik analizində Taquçi metodu və Minitab proqramından istifadə edilmişdir. Tətbiq olunan oxboyu yükləndən və millərin uclarının bərkidilmə şəklindən (milin uzunluq əmsalından) asılı olaraq yaranan eninə əyinti təyin edilmiş, onun dəyişmə qanunauyğunluğu öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, millərin uclarının oynaqqla birləşdirilməsində oxboyu yüklənmə zamanı əyinti daha kiçik olur. Yüklün böyük qiymətlərində əyinti daha intensiv artır. Eksperimentin nəticələrinin dispersiya analizi ANOVA ilə aparılmış, əyintinin yükləndən və milin nisbi uzunluq əmsalından asılılığının empirik ifadəsi alınmışdır.

Açar sözlər: Mil, boyuna əyilmə, əyinti, böhran qüvəsi, oxboyu yük, millərin uclarının bağlanılma üsulu

EXPERIMENTAL STUDY OF THE DEFLECTION OF BUCKLED ROD BY THE TAGUCHI METHOD**ABSTRACT**

The article analyzes the bending of steel rod in the laboratory and analyzes the results. The Taguchi method and the Minitab software were used in the planning of the experiment and in the mathematical and statistical analysis of the results. The transverse deflection depending on the applied axial load for various end conditions (effective length of rod) was determined, and its regularity was studied. It has been found that when the ends of the rod are pinned, the deflection is smaller during axial loading. At higher load values, the load increases more intensively. The variance analysis of the results of the experiment was carried out with ANOVA, the empirical expression of the dependence of the deflection on the load and the effective length of the rod was obtained.

Keywords: rod, bending, buckling, deflection, critical load, axial load, various end conditions of the rod

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА СТЕРЖНЕЙ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОМ ТАГУЧИ****РЕЗЮМЕ**

В статье проведены результаты экспериментов по продольному изгибу стальных стержней в лабораторных условиях и их анализ. При планировании экспериментов и математико-статистическом анализе полученных результатов был использован метод Тагути и программа Minitab. В зависимости от приложенной осевой нагрузки и формы крепления концов стержней был определен результирующий поперечный прогиб и изучена закономерность его изменения. Установлено, что прогиб имеет маленькое значение при соединении концов валов шарниром. При больших значениях нагрузки прогиб увеличивается более интенсивно с увеличением нагрузки. Проведен дисперсионный анализ результатов эксперимента методом ANOVA и получено эмпирическое выражение зависимости прогиба от нагрузки и коэффициента относительной длины стержня.

Ключевые слова: стержень, продольный изгиб, прогиб, критическая нагрузка, осевая нагрузка, способ крепления концов стержней.

Giriş.

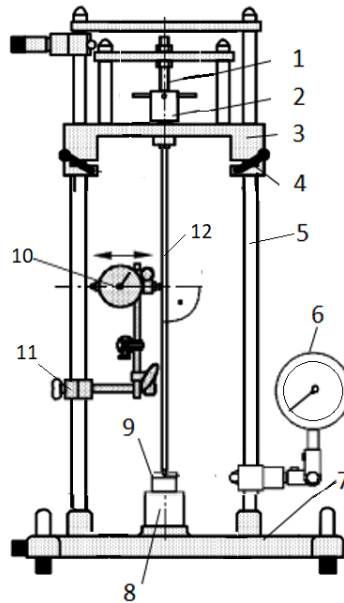
Texnikada sıxılan millərə, boyuna əyilən konstruksiya elementlərin çox rast gəlinir. Buna misal olaraq binaların dirəklərini, qaldırıcı kranların qüllələrini və ya sütunlarını,

liftlərin istiqamətləndiricilərini və s. göstərmək olar. Bu cür konstruksiyalar üçün əsas işgörmə qabiliyyəti meyarı dayanıqlıq hesab olunur, konstruksiyanın dağılmadan öncə dayanıqlılığını pozulur və o işgörmə qabiliyyətini itirir. Buna görə də hər bir real konstruksiya üçün yüklənmə hədlərini bilmək vacibdir. Dayanıqlılığa hesablama bəhran qüvvəsi və bəhran gərginliyi parametrlərindən istifadə edilir. Bəhran qüvvəsi konstruksiyanın daşıyabiləcəyi maksimal yükün elə bir qiymətidir ki, yüklənmə bu həddi keçdikdə o dayanıqlılığını itirməyə başlayır. Bundan sonra deformasiya kəskin artır və qısa zamana konstruksiyanın dağılmasına səbəb olur. Bəhran qüvvəsi çubuğun materialından (materialın elastiklik modulundan), en kəsinin minimal ətalət momentindən və çubuğun uclarının bağlanma şəkildən asılıdır.

Sıxılan çubuqların və ya millərin elastiklik həddi daxilində dayanıqlılıq məsələsini ilk dəfə L.Eyler həll etmiş, o çubuğun əyilmiş oxunun təqribi diferensial tənliyini həll edərək bəhran qüvvəsini təyin etmək üçün nəzəri düstur almışdır. Lakin onun tətbiqi yalnız materialın mütənasiblik həddi daxilində, çeviklik əmsalı 100 və daha çox olduqda doğru nəticələri verir. Çeviklik əmsalı 40-dan 100-ə qədər olduqda, bəhran gərginliyini təyin etmək üçün F.Yasinskinin empirik ifadəsindən istifadə etmək olar. Çeviklik əmsalı 40-dan kiçik olduğu hallarda isə, bəhran gərginliyi materialın axıcılıq həddinə bərabər qəbul olunur [1, 2].

Təcrübə qurğusunun konstruksiyası

Qurğunun konstruksiyası şəkil 1-də göstərilmişdir. Onun gövdəsi stol üzərində yerləşdirilmiş bazadan (7) şaquli quraşdırılan iki sütundan (5) və onları birləşdirən eninə tirdən ibarətdir. Eninə tir sütunlara tutucu vintlərlə (4) bağlanmışdır. Eninə tirin üzərində vintli yükləmə qurğusu (2) yerləşdirilmişdir. Yük baza üzərindəki qüvvə ölçmə cihazı vasitəsilə (8) ölçülür. Ölçü nümunəsi (12) qüvvə ölçən cihazın üzərinə əlavə edilən tutucu (9) ilə eninə tirdəki tutucu arasında yerləşdirilir. O, şpindel (1) vasitəsilə böyünə yüklənir. Qüvvə ölçmə cihazı tətbiq olunan qüvvənin qiymətini təyin edir və bu qüvvə indikatorunun (6) şkalasından oxunur.



Şəkil 1. Təcrübə qurğusunun ön görünüşü: 1-yükləmə şpindeli, 2-yükləmə qaykası, 3-eninə tir, 4-tutucu vintlər, 5-sütunlar, 6-qüvvə indikatoru, 7-baza, 8-qüvvə ölçmə cihazı, 9-əlavə edilən tutucu, 10- əyinti indikatoru, 11-sıxıq, 12-ölçü nümunəsi.

Qurunun texniki xarakteristikaları: Uzunluğu – 620 mm; eni – 450 mm; hündürlüyü – 1150 mm; kütləsi – 35 kq; maksimal sınaq yükü – 2000 N; maksimal eninə yük – 20 N; maksimal eninə əyilmə - ± 20 mm; nümunənin maksimal uzunluğu – 70 mm; yükləmə şpindelinin maksimal gedişi – 10 mm; qüvvə ölçmə diapazonu – 100 ... 2500 N; Aşağı diapazonda ölçmə dəqiqliyi az olduğuna görə 100 N-dan az qiymətlər göstərilir.

Eksperimentin planlaşdırılması

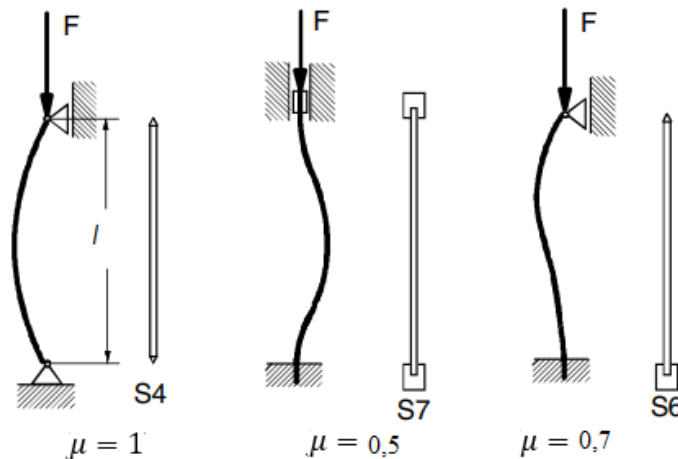
Eksperimentin planlaşdırılması və nəticələrin riyazi-statistik analizi Taquçi metodu ilə aparılmışdır. Bu metod 1960-ci ildən Yaponiyada məhsulların keyfiyyətini yüksəltmək üçün uğurla tətbiq olunur. 1980-ci ildən sonra dünyanın digər ölkələrində də bir çox şirkətlər müəyyən etdilər ki, istifadə etdikləri keyfiyyətin yüksəldilməsi metodları Yaponiyada tətbiq olunan metodla müqayisədə etibarlı və rəqabətə davamlı deyil [3, 4].

Məqalədə sınaqların aparılması üçün idarə olunan və çıxış faktorların sayına uyğun olaraq Taquçi $L9(3^2)$ planı seçilmişdir. Yəni, idarə olunan faktorların sayı 2, sınaqların sayı 9, təkrarların sayı isə 3 götürülmüşdür. Eksperimentin planı, dizaynı və analizi Minitab 20 statistik proqramında işlənmişdir. İdarə olunan parametrlər və onların səviyyələri cədvəl 1-də, eksperimentin planı və nəticələri cədvəl 2-də verilmişdir. Sınaqların aparılması üçün polad materialdan hazırlananmış, uzunluğu 650 mm, en kəsik ölçüləri 20×4 mm olan düzbucaqlı formasında standart nümunə seçilmişdir.

Cədvəl 1. İdarə olunan faktorlar və onların səviyyələri

Simvol	Adı və ölçü vahidi	Aşağı səviyyə-1	Orta səviyyə-2	Yuxarı səviyyə-3
F	Oxboyu yük, N	150	300	450
μ	Uzunluq əmsali	0,5	0,7	1,0

Milin uclarının bağlanma şəkli və ondan asılı olaraq uzunluq əmsalının qiymətləri şəkil 2-də göstərilmişdir.



Şəkil 2. Sınaq nümunəsinin uclarının bağlanma şəkli və uzunluq əmsali.

Nəticələrin riyazi-statistik analizi

Aparılmış sınaqlardan alınan nəticələr və onların Taquçi metodu ilə analizinin nəticələri cədvəl 2-də göstərilmişdir. Sınaq qurğusunun imkanlarına görə yük kiçik götürüldüyündən,

alınan əyinti qiymətləri də böyük deyildir. Yükün daha böyük qiymətlərində daha aydın nəzərə çarpacaq nəticələr almaq olar, amma təəssüf ki, mövcud cihazın imkanları buna yol verməmişdir.

Cədvəl 2. Taquçi metodu ilə eksperimentin analizi

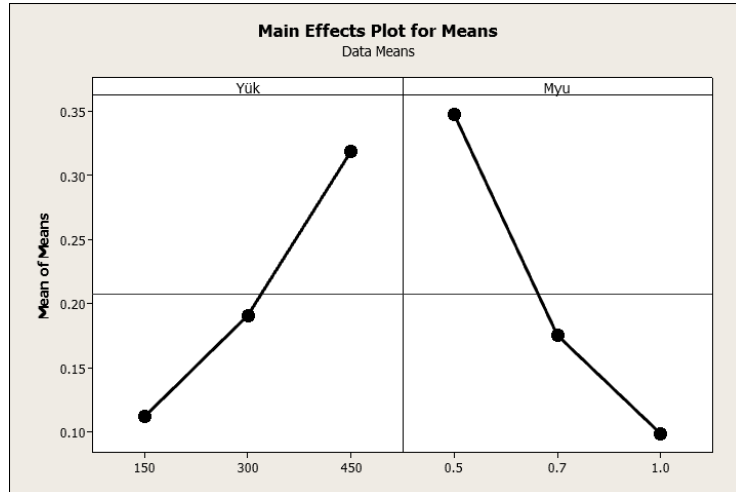
İdarə olunan faktorlar		Çıxış faktoru	Taquçi metodu ilə analizin nəticələri				
Yük, N	Uzunluq əmsalı, μ	Əyinti, δ (mm)	Əyintinin S/N nisbəti (dB)	Ehtimal olunan əyinti	Əyintinin ehtimal olunan S/N nisbəti (dB)	Əyinti fərqi	Əyintinin S/N nisbəti (dB) fərqi
150	0.5	0.32	9.897	0.25261	32.795066	0.06739	-22.89807
150	0.7	0.0167	35.54567	0.080386667	43.724422	-0.063686667	-8.178751
150	1	0.00001	100	0.003713333	68.923184	-0.003703333	31.076816
300	0.5	0.3367	9.455138	0.331506667	0.3523302	0.005193333	9.1028075
300	0.7	0.1667	15.56129	0.159283333	11.281686	0.007416667	4.2796015
300	1	0.07	23.09804	0.08261	36.480448	-0.01261	-13.38241
450	0.5	0.3867	8.252517	0.459283333	-5.542741	-0.072583333	13.795258
450	0.7	0.34333	9.285765	0.28706	5.3866152	0.05627	3.8991497
450	1	0.2267	12.89097	0.210386667	30.585377	0.016313333	-17.69441

Eksperimental müşahidələr signal-səs-küy (S/N) nisbətinə əyintinin minimallaşdırılması əsas götürülməklə aşağıdakı ifadə ilə transformasiya edilmişdir:

$$\eta = \frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

Aparılmış 9 sınağın hər biri üçün S/N nisbəti (1) ifadəsi ilə hesablanmışdır.

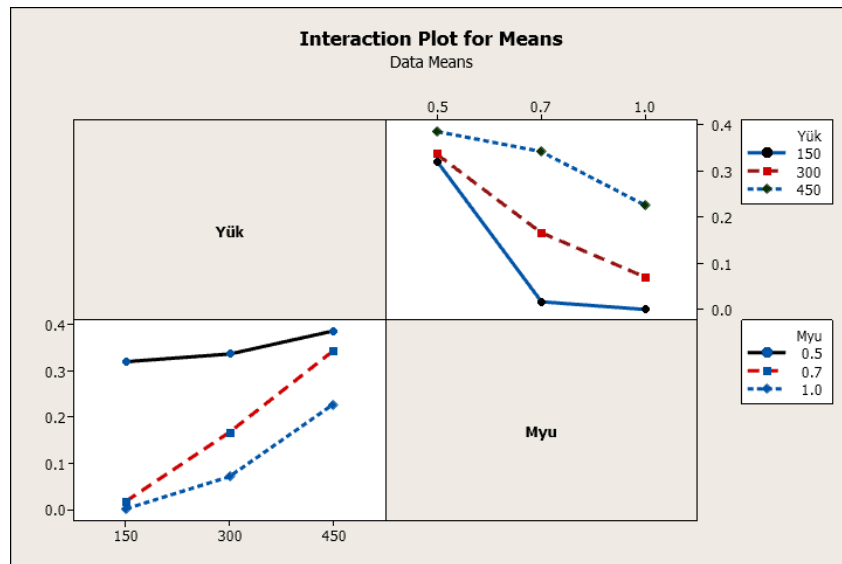
İdarəolunan parametrlərin əyintinin orta qiymətindən asılılığı şəkil 3-də göstərilmişdir. Qrafiklərdən aydın görünür ki, əyintinin minimallaşdırılması üçün yükün kiçik, uzunluq əmsalının böyük qiymətlərinin götürülməsi lazımdır. Yükün 300 N-dan 450N-a artırılmasında alınan əyinti xəttinin mailiyyəti daha yüksəkdir. Bu isə o deməkdir ki, yükün böyük qiymətlərində əyinti daha kəskin artır. Əksinə olaraq milin uzunluq əmsalının qiyməti artıqca, əyintinin azalması müşahidə olunur. Bu isə o deməkdir ki, konstruksiyaların layihələndirilməsi zamanı millərin ucunun oynaqla birləşdirilməsinə daha çox üstünlük vermək lazımdır. Çünki, bu cür birləşdirmədə milin uzunluq əmsalı daha yüksək (1,0) alınır. Hər iki qrafikin qarşılıqlı müqayisəsindən görünür ki, yük və uzunluq əmsalı parametrlərinin əyintiyə həssaslığı, demək olar ki, eynidir.



Şəkil 3. Əyintinin yük və milin uzunluq əmsalından asılılığı.

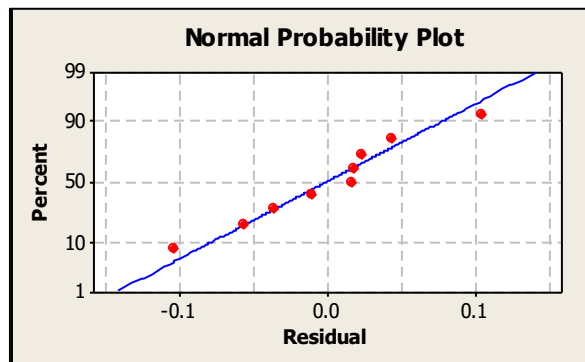
Şəkil 4-də qarşılıqlı əlaqə qrafikləri göstərilmişdir. Qrafikdən görünür ki, milin uzunluq əmsalının 0,7 qiymətində (milin bir ucu sərt, digər ucu oynaqla bağlandıqda) əyinti yükədən asılı olaraq mütənəsb artır, amma 0,5 və 1,0 qiymətlərində isə mütənəsblik müşahidə edilmir. Uzunluq əmsalının ən böyük qiymətində (1,0 – milin hər iki ucu oynaqla bərkidildikdə) eyni eksperimental şərtlərdə əyintinin daha kiçik qiymət alır.

Milin uzunluq əmsalının əyintidən asılılıq qrafiklərindən heç birində mütənəsblik müşahidə edilmir. Yükün kiçik qiymətlərində (150 N, 300 N) milin ucunun sərt-sərbəst (0,5) bağlanmasından sərt-oynaqlı (0,7) bağlanmasına keçməklə əyintinin kəskin azaltmaq olar.



Şəkil 4. Yük-uzunluq əmsalı-əyinti qarşılıqlı əlaqə arafikləri.

Şəkil 5-də sınaqdan keçirilən nümunələr üçün qalıq komulativ pylanması ilə normal ehtimal qrafiki göstərilmişdir. Qrafikdən görünür ki, xətlər kiçikdir və onların paylanması normaldır. Lakin sağ tərəfdə xətlər daha dağınıq paylanmışdır.

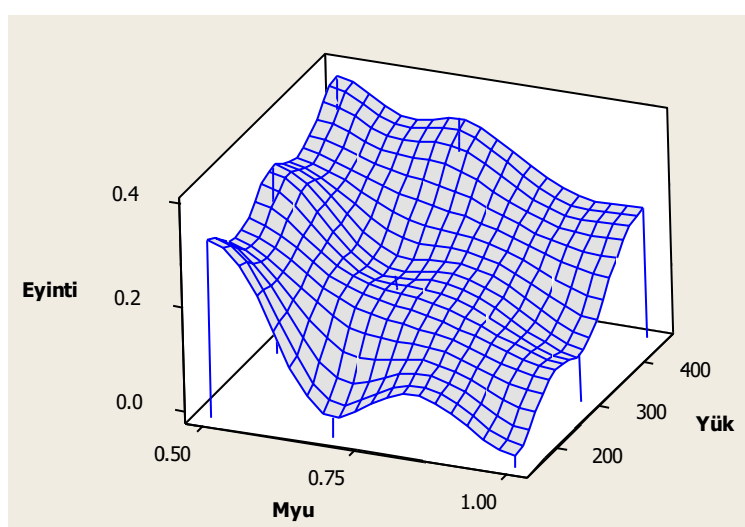


Şəkil 5. Normal ehtimal qrafiki.

Cədvəl 3-də sınaqdan keçirilmiş nümunələr üçün çıxış parametri olaraq əyintinin cavab cədvəli verilmişdir. Cədvəldən görünür ki, yükün birinci səviyyəsi və milin uzunluq əmsalının üçüncü səviyyəsi əyintiyə minimal təsir göstərir. Əyintiyə ən yüksək təsiri (0,3478) milin uzunluq əmsalının birinci səviyyəsi (0,5) göstərmişdir. Ən aşağı təsir isə (0,0989) onun üçüncü səviyyəsində (1,0) müşahidə edilir. Yükün isə birinci səviyyəsində (150 N) minimal əyinti alınmışdır. Digər tərəfdən əyintinin maksimal qiyməti (0,3867 mm) L8 sınağında yükün ən böyük (450 N) və milin uzunluq əmsalının ən kiçik (0,5) qiymətində, əyintinin minimal qiyməti (0,00001 mm) isə L3 sınağında yükün ən kiçik (150 N) və milin uzunluq əmsalının ən böyük (1,0) qiymətində alınmışdır.

Cədvəl 3. Əyinti üçün cavab cədvəli.

Level	Yük	Uzunluq əmsalı
1	0.11224	0.34780
2	0.19113	0.17558
3	0.31891	0.09890
Fərq 1-3	0.20667	0.24890
Rank	2	1



Şəkil 6. Əyintinin yük və milin uzunluq əmsalından asılılıq qrafiki.

Şəkil 6-da əyintinin yük və milin uzunluq əmsalından üç ölçülü asılılıq qrafiki verilmişdir. Qrafikdən maksimal əyintinin uzunluq əmsalının kiçik, yükün böyük qiymətlərində alındığı aydın görünür. Paylanma xarakteri mürəkkəb olsa da, bu qrafik əyintinin idarə olunan parametrlərdən asılılığını daha əyani nümayiş etdirir.

ANOVA

ANOVA (Analysis of variance) dispersiya analizi üçün istifadə edilən statistik modellər toplusudur. Bu modellərin və onlarla əlaqəli qiymətləndirmə prosedurlarının vasitələr arasındakı fərqləri təhlil etməyə imkan verir. Oxboyu yüklə yüklənmiş, boyuna əyilməyə işləyən millərin uclarının bərkidilmə növündən və xarici yükləndən asılı olaraq əyintini qiymətləndirmək üçün aparılmış sınaqların ANOVA nəticələri cədvəl 4-də verilmişdir. Cədvəldən görünür ki, hər iki idarə olunan faktor çıxış faktoruna əhəmiyyətli təsir göstərir. Lakin milin uzunluq əmsalının təsiri daha böyükdür. İdarəolunan parametrlərin əhəmiyyətlik səviyyəsini 95% ehtimalla göstərən F dəyərinin müqayisəsindən görünür ki, milin uzunluq əmsalının əhəmiyyətlik dərəcəsi yükə nisbətən 33% çoxdur. F dəyəri reqresiya əmsalını təyin edən P dəyərini hesablamaq üçün istifadə edilir. Reqresiya əmsallarının müqayisəsindən görünür ki, yükün reqresiya əmsalı ($P=0.045\%$), milin uzunluq əmsalının müvafiq dəyərinə ($P=0.023\%$) nisbətən 2 dəfəyə yaxın böyükdür. Ona görə də hər ki, əsas parametrlərin əyintiyə təsirini qiymətləndirmək əhəmiyyətlidir.

İdarə olunan parametrlərin qarşılıqlı birgə təsirinin (Yük*Myu) təsiri əhəmiyyətli olmadığından ANOVA analizində nəzərə alınmamışdır.

Cədvəl 4. Əyintinin orta qiymətləri üçün variasiyanın təhlili

Mənbə	DF (sərbəstlik dərəcəsi)	Seq SS (kvadratların ardıcıl cəmi)	Adj SS (Kvadratların düzəldilmiş cəmi)	Adj MS (düzəliş edilmiş orta kvadratlar)	F – dəyəri 5%	P dəyəri, Reqresiya (%)
Yük	2	0.06527	0.06527	0.032633	7.44	0.045
Milin uzunluq əmsalı	2	0.09749	0.09749	0.048745	11.11	0.023
Qalıq xətası	4	0.01755	0.09749	0.004388		
Cəmi	8	0.18031	0.01755			

Əyintinin riyazi modeli

Eksperimental nəticələrin Minitab proqramı vasitəsilə riyazi-statistik analizi nəticəsində aşağıdakı reqresiya tənliyi alınmışdır:

$$\delta = 0.549 + 0.00003F - 0.747\mu + 0.00895F \cdot \mu \quad (2)$$

Reqresiya tənliyindən görünür ki, boyuna əyilmə zamanı mildə yaranan əyinti yükün artması ilə artır, milin uzunluq əmsalının artması ilə azalır. Həmçinin bu parametrlərin birgə təsiri də əhəmiyyətlidir. (2) tənliyi əlavə sınaqlar aparmadan idarə olunan faktorların təyin edildikləri hədlər daxilində milin əyintisini hesablamağa imkan verir.

Nəticə:

Aparılmış eksperimentlər zamanı alınmış dəyərlərin riyazi-statistika analizi nəticəsində aşağıdakı nəticələr alınmışdır.

1. Boyuna əyilmə zamanı milin əyintisi təsir edən oxboyu yükləndən və millərin uclarının bağlanması üsulundan asılı olaraq mürəkkəb dəyişmə xarakterinə malikdir;
2. Konstruksiyaların layihələndirilməsi zamanı millərin uclarının oynaq bərkidilməsi hesabına istismar zamanı daha kiçik əyintin təmin etmək olar;
3. Oxboyu yükün böyük qiymətlərində milin əyintisi daha böyük olur, ona görə də konstruksiyaların böhran qüvvəsinə yaxın deyil, ondan nəzərəcərpacaq dərəcədə daha kiçik qüvvələrlə yüklənməsinə diqqət yetirmək faydalıdır;
4. Əyintini hesablamaq üçün empirik ifadə alınmışdır;
5. Taquçi metodu ilə eksperimentin planlaşdırılması və aparılması daha dəqiq nəticələrin daha qısa zaman ərzində əldə edilməsini mümkün edir.

ƏDƏBİYYAT

1. Hüseynov Ə.M., Həsənov F.Ə. Materiallar müqaviməti. Bakı-2014, 830 s.
2. Beer F. et al. Mechanics of materials. 5th ed. McGraw-Hill. 2009.
3. Motorcu A.R. The Optimization of Machining Parameters Using the Taguchi Method for Surface Roughness of AISI 8660 Hardened Alloy Steel. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering* 56(2010)6, 391-401.
4. Şahin Y., Mirzəyev H. Wear behaviour of polymeric materials by Taguchi's method. "Mechanics of Composite Materials" (Vol 50/2014, No. 6) 2014.
5. Minafö G. Local buckling of reinforcing steel bars in RC members under compression forces. *Computers and Concrete*, Vol. 22, No. 6 (2018) 527-538.
6. Nugroho, N., Bahtiar E.T. Buckling formulas for designing a column with *Gigantochloa apus*. *Journal of Case Study in Construction Materials* 14 (2021).

UOT 621.01

BORU KƏMƏRLƏRİNDƏ BAĞLAYICI ARMATURLARININ İSTİSMARI EFEKTİVLİYİNİN ARTIRILMASI

QULİYEV A.H., AXUNDOV E.F., ƏSƏDZADƏ S.R., NƏCƏFOV S.M.

Bakı Mühəndislik Universiteti

“Mexanika mühəndisliyi” kafedrası

guliyevasif@gmail.com, akhundov.eldar@gmail.com, snecefov1@std.beu.edu.az,

XÜLASƏ

Məqalədə boru kəməri nəqliyyatının, boru xətlərinin (o cümlədən texnoloji və şəbəkə) iqtisadiyyatın tətbiq olunduğu sahəsindən asılı olmayaraq həmin hidro-pnevmo sistemlərdə istifadə edilən müxtəlif boru armaturunun analizi aparılıb. Boru kəməri sistemləri vasitəsi ilə hər-hansı bir texnoloji prosesin icrasında boru armaturunun müstəsna rolu qeyd olunaraq onun tərkib elementlərinin - əsasən də bağlayıcı armaturunun və onu hərəkətə gətirən (məsafədən idarə edən) fərqli konstruksiyalı intiqalların müqaisəli təhlili göstərilir. İntiqalların və idarəetmə sistemlərinin xüsusiyyətlərindən asılı olaraq boru sistemlərində geniş tətbiq edilən siyirtmələr üçün (təhlükəsizlik məsələləri nəzərə alınmaqla) bağlanma vaxtının optimal variantının seçilməsində müvafiq empirik düstur təklif olunur. Eyni zamanda, aparılmış təhlil və eksperimentlərin nəticələrinin davamı olaraq həmin düstur uyğun asılılıqların qurmağa və əsasında bağlayıcı armaturunun istismarının effektivliyini təmin edəcək müvafiq parametrlərinin təyin olunmasına imkan yaradır.

Açar sözlər: boru kəməri, bağlayıcı armaturu, texnoloji boru xətti, siyirtmə, intiqal, qapadıcı

INCREASING THE EFFICIENCY OF OPERATION OF SHUT-OFF VALVES IN PIPELINES

ABSTRACT

Regardless of the scope of pipeline transport, pipeline lines (including technological and system lines), the article analyzes various types of pipeline valves used in these hydropneumatics systems. The exceptional role of pipeline valves in the implementation of any technological process through pipeline systems is noted and a comparative analysis of its constituent elements is shown - especially shut-off valves and actuators of various designs that actuate them (remotely control them). Depending on the characteristics of drives and control systems, an appropriate empirical formula is proposed for selecting the optimal variant of the slide-valve closing time, which is widely used in pipeline systems (considering safety issues). At the same time, as a continuation of the results of analysis and experiments, this formula allows you to establish the appropriate dependencies and determine the required parameters, on the basis of which the efficiency of the shut-off valve will be ensured.

Key words: pipeline, shut-off valves, technological pipeline, slide-valve, drive, shutter.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ В ТРУБОПРОВОДАХ

РЕЗЮМЕ

Независимо от области применения трубопроводного транспорта, трубопроводных линий (в том числе технологических и сетевых), в статье анализируется различного типа трубопроводная арматура, используемая в этих гидропневматических системах. Отмечена исключительная роль трубопроводной арматуры в осуществлении любого технологического процесса посредством трубопроводных систем и показан сравнительный анализ составляющих ее элементов - особенно запорной арматуры и приводов различной конструкции, приводящих их в действие (дистанционно управляющих ими). В зависимости от характеристик приводов и систем управления предлагается соответствующая эмпирическая формула для подбора оптимального варианта времени закрытия задвижки, широко применяемой в трубопроводных системах (с учетом вопросов безопасности). В то же время, как продолжение результатов анализа и экспериментов, эта формула позволяет установить соответствующие зависимости и определить требуемые параметры, на основании которых будет обеспечиваться эффективность работы запорного клапана.

Ключевые слова: трубопровод, запорная арматура, технологический трубопровод, задвижка, привод, затвор.

1. Giriş

Fərqli təyinatlı və miqyaslı (o cümlədən magistral və texnoloji) boru kəmərlərinin layihələndirilməsi mərhələlərin həyata keçirilməsi axınının istiqamət və miqdarının idarə edilməsinə, habelə mühit axınının qapadılmasına (hermetik bağlanmasına) imkan yaradan xüsusi avadanlıqdan – müxtəlif tipli bağlayıcı armaturlarından (klapanlarından) istifadə etməmək mümkün deyil. Hal-hazırda boru kəməri xətlərində bir neçə növ (təyinatından asılı olaraq) bağlayıcı armaturlar geniş tətbiq olunurlar. Belə bağlayıcı armaturlar ventillər, kranlar, siyirtmələr və s. aiddir. Kəmiyyət baxımından, bağlayıcı armaturlar istifadə olunan boru kəməri armaturlarının ümumi sayının 70%-dən çoxunu təşkil edir.

Bağlayıcı armaturlarının tətbiq sahəsinin əhatə dairəsi inanılmaz dərəcədə genişdir – burada son dərəcə yüksək (ultra yüksək) və son dərəcə aşağı (ultra aşağı) diapazonda təzyiq və temperaturlu sahələri, toksik (zəhərli) və çirklənmiş mühitləri və s. qeyd etmək olar. Konstruksiyanın daim təkmilləşdirilməsi və yeni materiallı konstruktiv avadanlıqların istifadəsi bağlayıcı armaturların tətbiqi sferasının və bu istiqamətdə həll olunması məsələlərin genişlənməsinə səbəb olur (texnologiya üzrə tələb olunan armaturun seçilməsi bəzən çox çətin olur) [1].



Şəkil 1. Tətbiq edilən boru armaturunun əsas növləri.

Təyinatından, iş şəraitindən və texniki-iqtisadi səmərəliliyindən asılı olaraq, bu cür bağlayıcı armaturlar pnevmatik və ya hidravlik intiqallı ola bilər. Göstərilən intiqallarla təchiz olunmuş siyirtmələrin işləmə prinsipi eynidir – intiqal porşenin (pistonun) üzərindəki işçi agentin (maye və ya qazın) təzyiqini götürərək, yayın qüvvəsi və ştoka təsir edən (itələyən) mühitin təzyiqi dərhal siyirtməni qapadır. Bağlayıcı armaturlar üçün intiqalların və idarəetmə sistemlərinin mövcud konstruksiyalarının təhlili göstərir ki, onları layihələndirərkən, ilk növbədə, sistemin işçi agentini ilə fasiləsiz təchizatı imkanlarını nəzərə almaq lazımdır. Həmçinin, texnoloji proseslərin tətbiq olunduğu yerlərdə idarəetmə sisteminin iş şəraitindən asılı olaraq intiqallarda istifadə olunan işçi agentin aşağıdakı üstünlük və çatışmazlıqlarını nəzərə almaq vacibdir [2, 3].

İşçi agent kimi havadan (və ya qazlardan) istifadənin üstünlükləri aşağıdakılardır:

a) sıxılmış havanın əldə edilməsi üçün nisbətən aşağı material xərclərinə tələbi; b) texniki personalı üçün nisbətən təhlükəsiz olan aşağı təzyiqli (2,0 MPa qədər) avtomatlaşdırma və idarəetmə avadanlığından istifadə edilməsi; c) işçi hissələr və birləşmələrlə birbaşa təmasda olduqda onların fiziki və kimyəvi tərkibinin pozulmaması; d) hərəkət zamanı aşağı müqavimət göstəricilərin olduğu halda, pnevmatik intiqalların yüksək

icra sürətinə malik olması; e) havanın təmizlənməsi və qurudulması üçün, (məsələn, qazla müqaisədə) nisbətən aşağı xərclərə tələbi; f) işlənmiş havanın atmosfərə sərbəst şəkildə və sistemin istənilən yerində buraxılması (ona görə də pnevmatik intiqallarda qayıtma-dövri xətləri daha qısadır, yəni hava atmosfer buraxılır); g) havanın fiziki xassələrinin xüsusiyyətlərinə görə pnevmatik sisteminin istismarı hidravlik sistemə nisbətən ətraf mühitin temperatur dəyişməsindən daha az asılı olması [4].

İntiqallarda havadan istifadə olunmasının çatışmazlıqları aşağıdakılardır:

a) sıxılmış hava mühitinin yaradılması üçün dövri (demək olar - gündəlik) texniki xidmətini özündə nəzərdə tutan mürəkkəb və bahalı kompressor avadanlığına tələbi; b) qurutma prosesi tam aparılmadıqda su kondensatının sistemə daxil olması nəticəsində qış mövsümündə borucuqlarda, intiqallarda və pnevmatik sisteminin digər elementlərində onun donması səbəbindən idarəolunmazlıq ehtimalının yaranması; c) idarəetmə sisteminə nəmliyin daxil olması nəticəsində pnevmatik avadanlığının komponentlərinin korroziyaya uğranması, paslı hissəciklər ilə çirklənməsi; d) idarəetmə sistemində cüzi hava sızmasının praktiki cəhətdən müəyyən edilməsinin çətinliyi.

İşçi agent kimi havaya xas olan bütün üstünlüklər və çatışmazlıqlar digər qazlara da aid edilə bilər, yəqinə fərq odur ki, qazın tətbiq edilməsi çirkləndirici maddələrdən və kondensatdan təmizlənməmiş və lazımı təzyiqdə qaz mənbəyinin yaxınlıqda olduğu təqdirdə həyata keçirilir (sistemdən çıxan işlənmiş qaz isə çıxış borusundan məşəl vasitəsilə atmosfərə buraxılır).

Bağlayıcı armaturların intiqallarında hər-hası bir işçi mayenin istifadəsinin üstünlüyü: a) hidravlik idarəetmə sistemində lazımı maye təzyiqini yaratmaq üçün daimi texniki xidmət tələb etməyən sadə konstruksiyalı hidravlik nasoslardan istifadə edilməsi; b) hidravlik sistemdə təzyiqin uzun müddət saxlanması üçün nasosun dövri istismarı (vurulması) ilə yanaşı pnevmohidravlik akkumulyatorlardan istifadə olunması; c) yüksək keyfiyyətli (donma temperaturu aşağı olan) yağlardan (məsələn, kinematik özlülüyü $\nu=12-14$ sSt və sıxlığı $\rho=0,89$ qr/sm³ olan müxtəlif markalı yağlardan) istifadə imkanının mövcudluğu; d) idarəetmə sistemindən sızmalar asanlıqla müəyyən edilir və aradan qaldırılır; e) intiqalın və hidravlik idarəetmə sisteminin hissələri (detalları) daim yağlanır; f) hidravlik intiqalların qabarit ölçüləri pnevmatik intiqalların qabarit ölçülərindən xeyli kiçikdir [5].

Mayelərin işçi agent kimi istifadəsinin çatışmazlıqları:

a) yağların yüksək qiymətinin və yağın həcminə nəzarət zamanı hidravlik sisteminin dövri doldurulmasına (əlavə edilməsinə) ehtiyacın olması; b) yüksək təzyiqli hidravlik avadanlıqdan istifadə edilməsinə ehtiyacın olması; c) borucuqlarda, fitinqlərdə və hidravlik avadanlıqlarda nisbətən yüksək hidravlik müqavimətlərin mövcudluğu.

Yuxarıda göstərilənlərə baxmayaraq, bağlayıcı armaturların intiqalları idarəetmə sistemini təşkil edən pnevmatik və hidravlik cihaz və avadanlıqlarla birlikdə işləyir. Pnevmatik və hidravlik avadanlıqlara (cihazlara) aşağıdakılar daxildir:

1) sıxılmış havanın və ya mayenin (işçi agentinin) axınlarını basqı və axıdıcı xətdən intiqalların işçi silindrlərinə və işçi silindrlərdən atmosfərə və ya çənlərə yönəltmək üçün nəzərdə tutulmuş paylayıcı cihazlar. Paylayıcılar bir neçə üsulla idarə oluna bilər - mexaniki, elektrik, hidravlik, pnevmatik və ya qarışıq;

2) bağlayıcı armaturlarının işçi orqanlarının hərəkətinin tələb olunan qanunlarına uyğun olaraq və verilmiş bir alqoritmə bağlı olaraq müvafiq hərəkət ardıcılığını təmin etmək üçün nəzərdə tutulmuş idarəetmə cihazları.

2. Tədqiqatın məqsədi

Bağlayıcı armaturların istifadə dairəsinin geniş olduğunu nəzərə alsaq (dəniz, aviasiya və boru kəməri nəqliyyatı, nüvə energetikası, neft və kimya sənayesi, müxtəlif texnoloji proseslərdə maşın və avadanlıq sistemləri və s.), onda bağlayıcı armaturların ən vacib xüsusiyyətlərindən biri olan - etibarlılıq onların normal istismarını və fəvqəladə qəza hallarında təhlükəsizliyini, habelə bununla bağlı ətraf mühitin ekoloji vəziyyətini müəyyən edir [6].

Mühit axınlarını bağlamaqla hermetikliyi təmin edən bağlayıcı armaturlarının (məsələn, siyirtmələrin) əsas hissələri qapadıcı cütüklərin özləridir – bütün sıradan çıxmaların (nasazlıqların) yarısını (50%) təşkil edən sıx birləşmələrdir [7,8,9,10]. İstismar zamanı və ya ekstremal hallar (məsələn, axın təzyiqinin kəskin artması və ya azlması) nəticəsində hermetikliyin pozulması (sızmaların olması) qapadıcı elementlərinin konstruksiyasında arzuolunmaz dəyişikliklərin əmələ gəlməsinə gətirib çıxara bilər (və ya əsas ola bilər).

Qeyd edilən istiqamətdə tədqiqatların mətiqi yekunu (aparılan bir çox təcrübələrin və əldə edilən göstəricilərin təhlilinin nəticəsi) belə bir qənaəət gəlməyə imkan verir ki, əgər siyirtmələrin qapadıcısı dərhal bağlanarsa, birləşdirici boru xətlərində təzyiqin kəskin qalxması (təzyiq artımı ΔP) olur, yəni hidravlik zərbə baş verir. Hidravlik zərbə zamanı, boru kəmərinə təzyiq buraxıla bilən həddən yuxarı qalxa bilər ki, bu da öz növbəsində onun birləşmələrinin və siyirtmənin özündə kipliyn pozulmasına səbəb ola bilər. Digər tərəfdən, fəvqəladə hallarda (qəza zamanı) siyirtmə qapadıcısı çox yavaş sürətlə bağlanarsa, onda daşınan və ya işçi mühitin itkisi ola bilər ki, sonradan isə ekologiyaya mənfi təsir göstərəcək nəticələrinin aradan qaldırılması çətinliyi (mümkünsüzlüyü) məsələsi yaranır. Öncə təsvir olunan proseslər texnoloji boru xətlərinə (məsələn, neft məhsullarının saxlanma çənlərində təmizləmə işləri üçün istifadə edilən avadanlıqlar) da aiddir [13].

Buna görə də, pnevmohidravlik idarəetmə sistemlərinin layihələndirilməsi mərhələsində bağlayıcı armaturlar – siyirtmələr üçün (yuxarıda qeyd olunan intiqalların və idarəetmə sistemlərinin xüsusiyyətlərindən asılı olaraq) qapadıcının bağlanma vaxtını təyin etmək və lazım olduqda onu tənzimləmək zərurəti yaranır. Belə ki, birtərəfli hidravlik intiqalla təchiz olunmuş bağlayıcı armaturların icra sürətini (vaxtını) təyin etmək üçün hesablama düsturu aşağıda kimi təklif olunmuşdur (qapadıcının bağlanma vaxtının tədqiqindən əldə edilən nəticələr əsasında müəyyən edilir):

$$\tau = \frac{\sqrt{A^2 - 4C + 4Bz_0} - \sqrt{A^2 - 4C}}{B} + \frac{A}{B} \ln \frac{\sqrt{A^2 - 4C + 4Bz_0} - A}{\sqrt{A^2 - 4C} - A} \quad (1)$$

burada,

$$A = \frac{120f_0\mu^2vl}{f_{por}d^2(1 + \sum \xi\mu^2)}; \quad B = \frac{2(F_b - F_s)f_0^2\mu^2}{f_{por}^3\rho z_0(1 + \sum \xi\mu^2)}; \quad C = \frac{2f_0^2\mu^2(h\rho g f_{por} - F_s - F_1 + F_2)}{f_{por}^3\rho(1 + \sum \xi\mu^2)}$$

Yuxarıda qeyd olunan düsturlarda:

z_0 – intiqalda hidrosilindrin tam gedişi;

f_0 – drosselləmə zamanı ştuserin canlı kəsiyinin sahəsi;

μ – axının sıxılmasını, sürətini və digər faktorları nəzərə alan sərf əmsalı;

$\Sigma \xi$ – fitinqlərdə yerli hidravlik itkilərin əmsallarının cəmi;

ν – mayenin (işçi agentin) kinematik özlülüyü;

ρ – mayenin (işçi agentin) sıxlığı;

d, l – hidravlik idarəetmə borucuqlarının diametri və uzunluğu;

f_{por} – intiqalda hidrosilindr porşeninin en kəsiyinin sahəsi;

h – idarəetmə stansiyası və intiqalın arasında həndəsi hündürlüyü fərqi;

F_b, F_s – başlanğıc və son rejim mövqelərində yayın gücü [11,12];

F_1 – mühitin daxili təzyiqi hesabına qapadıcı ştokunu itələyən qüvvə, bərabərdir $-f_s \cdot P_{is}$, burada f_s – ştokun kipləşdiyi yerdə en kəsiyi sahəsi, P_{is} isə – siyirtmədə işçi təzyiqidir;

F_2 – qapadıcı elementlərinin sürtünmə qüvvələridir (şiber – yəhər, ştok – manjet, həmçinin porşen – silindr və s.) [1, 9].

3. Alınan nəticələr:

- (1) düsturu qapadıcının (intiqalın, siyirtmənin və hidravlik idarəetmə sisteminin xüsusiyyətlərini bilməklə) bağlanma vaxtını təyin etməyə imkan yaradır və bununla belə, $\tau = f(f_0)$ qrafiki asılılığını qurmaqla f_0 üçün elə bir ədədi seçmək olar ki, verilmiş boru xəttində ΔP artımı buraxıla bilən həddə qədər olsun;

- f_0 üçün ölçü parametrlərinin təyin edilməsi ilə bağlayıcı armaturlarda (siyirtmələrdə) qapadıcının bağlanma sürətini tənzimləmək olar.

ƏDƏBİYYAT

1. Гуревич А.Ф. Расчет и конструирование трубопроводной арматуры. Изд. «Машиностроение» М. 1964, 1-830с.
2. Гидравлические и пневматические силовые системы управления. Под редакцией Дж.Блекборн, Г.Ритхорф, Дж.А.Шерер. Перевод с английского, изд. Иностранной литературы М.1962, 1-614с.
3. Гусейнов С.О., Ахундов Э.Ф., Расчеты пневмо- гидроприводов задвижек. Изд. «Чашыоглы», Баку, 1998, 1-60с.
4. Baştа Т.М. Hidrointiqal və hidroavtomatika. М., «Машиностроение» 1972, 320s.
5. Баржанский Е.Е. Определение надежности гидроприводов, выпускаемых в условиях единичного производства. «Пневматика и гидравлика» М, №13 1987г.
6. Сейинов С.В., Калашников В.А., Железнов Б.П. Испытания трубопроводной арматуры. — М.: Издательство стандартов, 1989. 162 с.
7. Куршин А.П. Пути повышения надежности и качества трубопроводной арматуры на основе научно-технических достижений в области герметологии, Арматуростроение, № 6(32),2004. С. 27-31.
8. Ланков А.А., Михайлов Ю.Б. Влияние сближения на расход газа через стык контактирующих поверхностей, Микрогеометрия и эксплуатационные свойства машин. - Рига: Зинатне, 1972. С. 163-171.
9. Макаров Г.В. Уплотнительные устройства. Л. «Машиностроение», 1973. 350с
10. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Наука, 1981. - 111 с.
11. ГОСТ 13765-90 Пружины цилиндрические, растяжение и сжатие.
12. S.O.Hüseynov, A.H.Quliyev, Ə.A.Axundov, F.S.Əliyev, Həcmi hidro ötürmələr nəzəriyyəsi və layihələndirmə əsasları., Bakı, 2006,-302s.
13. Məmmədov K.M., Musayev Z.S., Mursəlov A.Ə., Məmmədova V.V., Neftyiğılan, nəql edən mühəndis qurğuları və avadanlıqları. Bakı, «Təhsil» NPM, 2009, 214 səh.
14. İnternet resurs - <https://neftegaz.ru/tech-library/transportirovka-i-khranenie /141614 - kompressornaya-stantsiya/>.

UOT 621.762.

MAQNEZIUM VƏ ALÜMINIUM ƏRİNTİLƏRİNİN MEXANİKİ XASSƏLƏRİNİN TERMOMEXANİKİ EMALLA YÜKSƏLDİLMƏSİNİN TƏDQIQI

VURĞUN QƏHRƏMANOV, RZA QULUZADƏ

Bakı Mühəndislik Universiteti

Mexanika Mühəndisliyi kafedrası

vqahremanov@beu.edu.az, rquluzade1@std.beu.edu.az

XÜLASƏ

Məqalədə maqnezium və alüminium ərintilərinin bir sıra xassələrinin, xüsusilə mexaniki xassələrinin termomexaniki emalla (TMO) yüksəldilməsi məsələlərinə baxılmışdır. Tədqiqatlar nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, bütün temperaturlarda mexaniki xassələrdə effektiv möhkəmlənmə yüksək temperaturlu termomexaniki emal zamanı əldə edilmişdir. Lakin yüksək temperaturlu termomexaniki emal nəticəsində əldə edilən mexaniki xassələrdəki dəyişiklik, bilavasitə ərintilərin tərkibindəki qatışıqlardan asılı olması da müşahidə olunmuşdur

Açar sözlər: maqnezium, mexaniki xassə, pərçimləmə, termomexaniki emal, möhkəmlilik, zərbə özlülüyü, nisbi uzanma

STUDY OF THE INCREASE OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF MAGNESIUM AND ITS ALLOYS BY THERMO-MECHANICAL PROCESSING

ABSTRACT

In the article, issues of improving a number of properties, especially mechanical properties, of magnesium, aluminum and their alloys by thermomechanical processing were considered. As a result of research, it was determined that effective strengthening of mechanical properties at all temperatures was achieved during high-temperature thermomechanical processing (TMO). However, it was also observed that the change in mechanical properties obtained as a result of high-temperature thermomechanical processing directly depends on the impurities in the composition of magnesium alloys.

Keywords: magnesium, mechanical property, riveting, thermomechanical processing, strength, impact toughness, relative elongation

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАГНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ ПРИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

РЕЗЮМЕ

В статье рассмотрены вопросы улучшения ряда свойств, особенно механических, магния, алюминия и их сплавов путем термомеханической обработки (ТМО). В результате исследований установлено, что при высокотемпературной термомеханической обработке достигается эффективное укрепление механических свойств при всех температурах. Однако также было замечено, что изменение механических свойств, полученных в результате высокотемпературной термомеханической обработки, напрямую зависит от примесей в составе магниевых сплавов.

Ключевые слова: магния, алюминий, механические свойства, наклеп, термомеханическая обработка, прочность, ударная вязкость, относительное удлинение

Giriş: Yüksək temperaturlu termomexaniki emal prosesi rekristallaşma temperaturundan yuxarı temperaturda (T_{rek}) aparıldığı üçün deformasiyadan sonra əgər məmulun tezliklə soyudul-ması təmin olunmasa, metal və ərintilərdə rekristallaşma prosesləri gedir.

Bu zaman qısa vaxt ərzində təhrif olunmuş kristallik qəfəs düzəliş (bu qayıtma adlanır), sonra poliqonlaşma, birinci mərhələ – “emal”, ikinci mərhələ “yığıcı” rekristallaşma prosesləri başlayır. Yığıcı rekristallaşmadan sonra yüksək temperaturlu termomexaniki emal öz əhəmiyyətini itirə bilər [1].

Tədqiqatın məqsədi: Tərkibində 2,5 – 3,5 Nd olan maqnezium ərintisini tablama-deformasiya – köhnəlmə (din-cəlmə) sxemi üzrə emaldan sonra tədqiq edilmişdir. Tablama suda aparılmışdır; nümunə 535 °C qızdırıldıqdan sonra, bu temperaturda 4 saat saxladıqdan sonra tablandırılmışdır. Deformasiya 5 və 10% deformasiya dərəcəsi ilə dartılma aparılmışdır. Köhnəlmə əməliyyatı müxtəlif temperatur intervalında (150-300 °C) və hər temperaturda 24 saat saxlamaqla aparılmışdır [2].

TME-dan sonra və termomexaniki emal prosesi aparılmışı halda otaq temperaturunda me-xaniki xassələrin yoxlama nəticələri şəkil 1-də verilmişdir.

Ümumi qaydalara görə pərçimləmənin bərk ərintilərin incə strukturuna təsirinə görə axma həddi nəzərə çarpan dərəcədə, plastiklik isə cüzi dəyişir. Pərçimlənmə nəticəsində möhkəmlənmə əyrisindəki maksimum nöqtə aşağı temperaturlara tərəf yerini dəyişir [4].

Buradan görünür ki, bu sistem üçün termomexaniki emal əməliyyatının tətbiqi ərintinin mexaniki xassələrini artırır, hətta temperatur artdıqda belə bu möhkəmlənmə qorunur. Deməli, ərintinin tərkibindəki bahalı neodiyumun miqdarını aşağı salmaq olar [5].

Bundan sonrakı tədqiqat termomexaniki emalın yaratdığı yüksək dayanıqlığın qorunması-na həsr edilmişdir. Göstərilir ki, hətta metal qızdıqda belə qəfəsin ayrılığı qorunub saxlanır. (neodi-umu təmiz kənar etdikdə də bu xassə qorunur). Beləliklə, təcrübələr nəticəsində təsdiq edilmişdir ki, ikinci fazanın (Mg, Nd) dispres ölçülərində və hərtərəfli paylanması nəticəsində rekristallaşma prosesini ləngidir. Bu ikinci fazanın kooqulyasiyası rekristallaşma prosesinin inkişafını təyin edir [6].

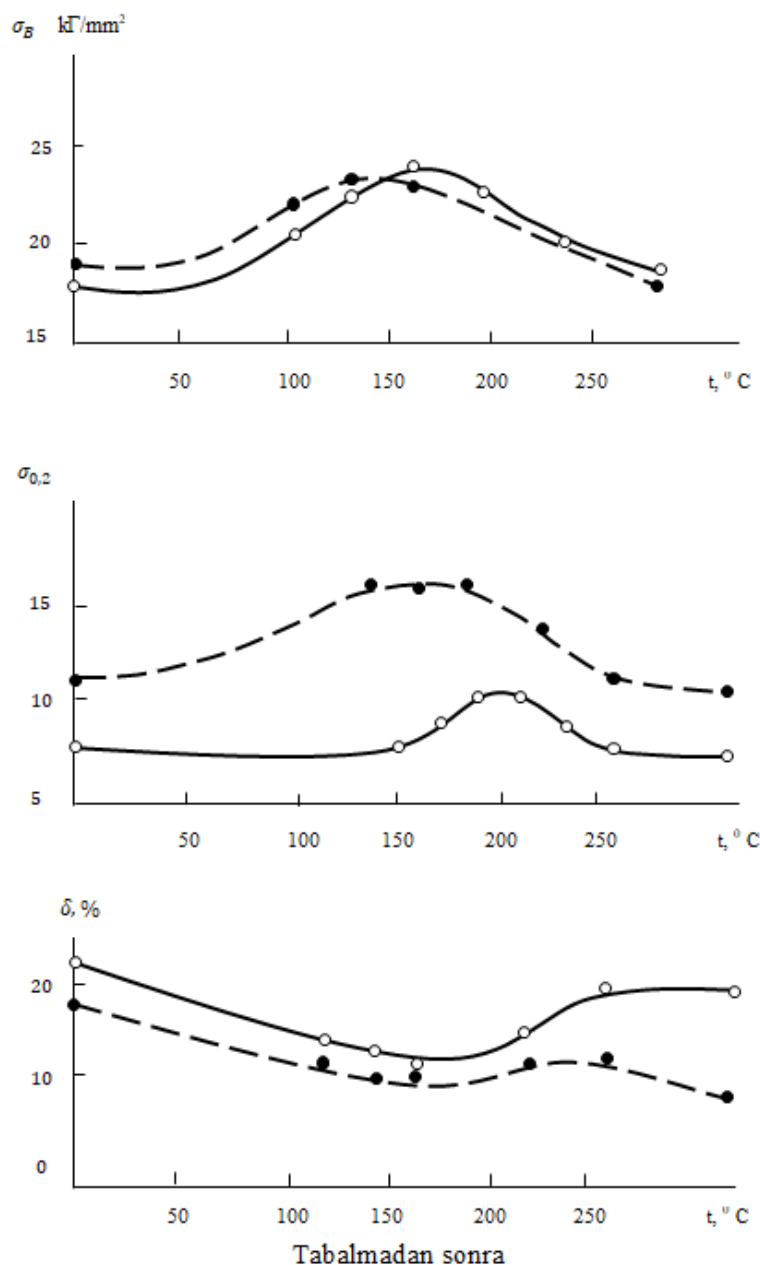
Bundan sonra Al - ərintilərin termomexaniki emalı tədqiq edilmişdir. Burada Al+4%Mg; Al+4%Cu+1,54% Mg ərintiləri tablama + təbii köhnəlmə+ deformasiya + süni köhnəlmə sxemi üzrə TME ilə möhkəmləndirilmişdir. Süni köhnəlmə 150, 175 və 200 °C -də aparılmış və hər bir temperaturda 6 saat saxlanmışdır.

Süni köhnəlməyə qədər deformasiya dərəcəsini 1%-dən 10%-ə qədər artdıqda dartılma prosesində plastiklik azalmış, möhkəmlik isə artmışdır. Süni köhnəlmə prosesi üçün bütün tədqiqat nəticələri eyni olmuşdur, axma həddinin qiyməti isə intensiv artmışdır.

Mexaniki xassələrin ən yaxşı nəticələri 200 °C-də alınmışdır. (möhkəmlik artdıqca nisbi uzanma azalmışdır). Süni köhnəlmə rejiminin dəyişməsi Al-Cu ərintisinin möhkəmliyinə təsiri Al-Cu-Mg ərintisinə nisbətən daha çox təsir etmişdir (əvvəldən pərçimləmişlər).

Buradan görünür ki, alüminium ərintisinin tərkibinin dəyişməsinin möhkəmliyə təsirini tədqiq etmək məqsədə uyğundur.

Alüminium ərintilərinin termomexaniki emalı nəticəsində alınan xassələrin analizi göstərir ki, ərintinin mexaniki xassələrinin pərçimlənmə dərəcəsindən və köhnəlmə temperaturundan asılı olaraq geniş miqyasda dəyişir. Möhkəmlik dəyişə bilər arta bilər, azalar və dəyişməz qala bilər. Nisbi uzanmanın dəyişməsi adətən qayıdan xarakterli olur.



Şəkil 1. Maqnezium ərintisinin otaq temperaturunda mexaniki xassələrinin köhnəlmə temperaturundan və 24 saat saxlamadan sonrakı asılılığı. 1-tablama və köhnəlmə arasında 5 %-li pərçimləmə. 2- pərçimləməsiz.

Əgər deformasiya təbii köhnəlmədən sonra aparılırsa, onda xassələrin sərt dəyişməsi son

köhnəlməni 170-190 $^\circ\text{C}$ -də apardıqda görmək olar; əgər nümunələr tablamadan sonra pərçim-lənirsə, onda son köhnəlmə prosesini 150-170 $^\circ\text{C}$ -də aparmaq lazımdır.

Tabalma və köhnəlmə arasında plastik deformasiyaların aparılmasını ehtiva edən ter-momexaniki emal əməliyyatı əsas ərinti olaraq tərkibində Nd olan MA-11 sənaye maqnezium ərin-tisi üzərində sınaqdan keçirilmişdir. Təcrübənin nəticələri cədvəl 1-də göstəlməmişdir:

Cədvəl 1. Müxtəlif temperaturalarda MA11 (2,48% Mg; 1,77% Nd; 0,15% Mn, Ni) ərintisinin mexaniki xassələri

Deformasiya dərəcəsi	20°C			250°C			300°C		
	σ_B kΓ/mm ²	$\sigma_{0,2}$ kΓ/mm ²	δ , %	σ_B kΓ/mm ²	$\sigma_{0,2}$ kΓ/mm ²	δ , %	σ_B kΓ/mm ²	$\sigma_{0,2}$ kΓ/mm ²	δ , %
Çubuq									
0	27,6	13,9	17,1	19,2	10,3	22,0	15,5	8,8	39,3
3	30,1	22,4	12,9	19,4	16,1	21,0	16,2	12,1	22,7
6,5	32,5	26,4	9,6	19,7	17,3	15,2	17,3	14,3	19,2
11	33,1	26,6	8,5	21,2	20,1	12,4	18,1	16,2	18,1
Profil 30 x 30 x 3 mm									
0	24,6	12,4	18,2	16,4	8,8	28,5	12,5	7,4	50,8
3,5	26,9	18,7	13,7	16,7	13,3	24,2	13,8	10,3	35,6
7	28,7	22,8	8,0	18,3	15,6	19,0	14,4	10,7	40,9
13	30,2	23,5	8,7	19,1	16,9	15,6	14,4	11,7	38,0
Təbəqə 2-2,5 mm yayma istiqaməti boyunca									
0	29,0	15,6	14,3	20,2	13,2	14,0	14,8	9,6	26,6
5	29,2	17,7	16,4	17,5	15,6	18,4	14,0	11,7	38,1
10	30,9	21,6	11,5	19,7	-	14,5	16,2	13,3	29,3
20	34,5	30,6	2,0	23,1	21,2	7,8	18,8	16,4	18,6
məhsuldarlıq : tablamanı sonra, təbii köhnəlməyə qədər									

Termomexanika emala uğradılmış MA-11 ərintisində otaq temperaturunda və yüksək temperaturalarda yüksək möhkəmlik əldə edilmişdir.

Nisbətən yüksək miqdarda neobium olan maqnezium ərintilərində plastikliyin yüksəlməsini termomexaniki emalla 15% uzanma deformasiyası ilə Mg + 4,22% Nd ərintisi üzərində aparılan təcrübədə müəyyən etdik (sonuncu köhnəlmə əməliyyat 200 °C- də , saxlama müddəti 24 saat). Bu təcrübələr nəticəsində otaq temperaturunda axıcılıq həddinin demək olar ki iki dəfəyə qədər yüksəlməsi müşahidə olundu: 13,9-dan 25,8 kΓ/mm²-ə qədər. 250°C –də isə 12,2-dən 16,8 kΓ/mm²-ə qədər.

Tədqiqatları davam etdirdikcə sübut olunmuşdur ki, termomexaniki emala uğradılan ərintilər qızdırıldıqda kristallik qəfəs təhrif olunur. Belə çıxır ki, təhrif olunma bərk məhlulun qızdırılması zamanı bütün neodiumun ayrılmasına qədər davam edir. Quruluşdakı təhriflərin aradan qaldırılması ikinci mərhələdə Mg₉Nd hissəciklərin böyüməsi ilə də əlaqəlidir, hansı ki, bu faza əvvəlcədən deformasiya ilə yaradılmışdır. Bu məsələ isə müxtəlif tədqiqatlarda təsdiqlənmiş-dir, dispers ölçülü və bərabər məsafədə paylanmış zərrəciklər rekristallaşma prosesini ləngidir, lakin çatəmələgətirmə temperaturunu yüksəldir [3]. Lakin termomexaniki emalla bu prosesi müs-bət istiqamətdə həll etmək mümkün olmuşdur. Yəni, Mg₉Nd fazasında zərrəciklərin böyüməsi re-kristallaşma prosesini sürətləndirir.

Yüksək temperaturu termomexaniki emal nəticəsində fazların hissəciklərin sərhəddində bərabər paylanması daha çox nəzərə çarpır

Al+4% Cu; Al+1,5%Mg; Al+4% Cu+1,54%Mg ərintilərinin termomexaniki emalla möhkəmləndirilməsi aşağıdakı texnoloji ardıcılıqla gedir: tablamanı+təbii köhnəlmə+deformasiya +süni köhnəlmə. Süni köhnəlmə 1150, 175 və 200 °C temperaturunda 6 saat saxlamaqla aparılmışdır. Aparılan tədqiqatlar zamanı belə nəticələr bütün təbii köhnəlmə əməliyyatından sonra əldə edilmişdir. Burada xüsusilə axıcılıq həddinin intensiv yükəldiyini qeyd etmək olar.

Təcrübə nəticələri göstərir ki, termomexaniki emal zamanı alüminium ərintilərinə yük-sək möhkəmlik effekti elə ərintilərdə baş verir ki, onlar mürəkkəb S-fazadan (Al_2CuMg) ibarət olsun. Cu_2Al və ya Mg_2Si fazaları olan başqa ərintilərdə bu effekt aşağıdakı qiymətdədir.

Beləliklə, Al ərintilərinin möhkəmləşməyə qarşı dayanıqlığı aşağıdakı ardıcılıqla verilmişdir.

- 1) $Al + 4,1\%Cu; 1,5\%Mg$ 2) $Al + 4,1\%Cu + 0,49\%Li$;
- 3) $Al + 4,1\%Cu$; 4) $Al + 0,84Mg + 0,47\%Si$.

Bu ərintilərin rekristallaşma temperaturuları belədir:

340, 325, 240 və 250 °C. Bundan başqa aşkar edilmişdir ki, TME nəticəsində o ərintidə ki, möhkəmlənmə alınmışdır, onlarda substruktura inkişaf edir, səbəbi isə, güman edilir ki, poliqon-laşma mexanizmidir.

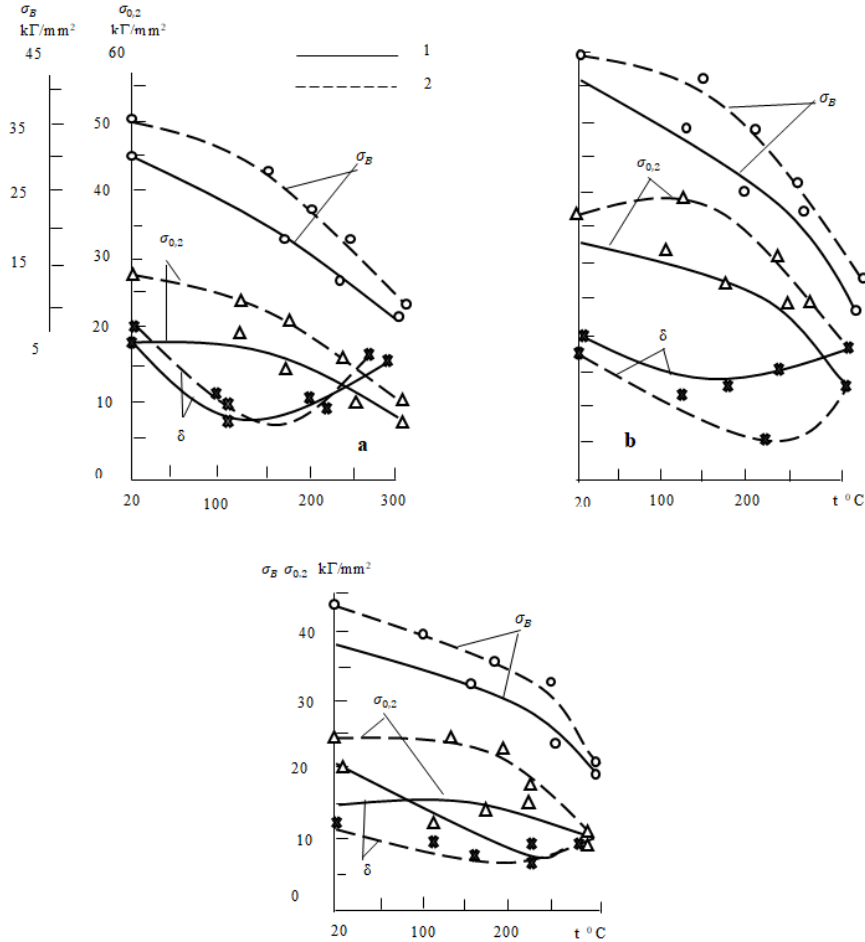
Tədqiqatların davamında yüksək temperaturda qısamüddətli dartılma və uzunmüddətli dayanıqlıq üçün kompleks mexaniki xassələrin, ərintilərin faza tərkibinin termomexaniki emalın təsirinin səmərəliliyində həlledici rol oynadığını, eyni zamanda yüksək temperaturda xassələri yaxşılaşdırdığını müşahidə etdik. Tərkibində Al_2CuMg kimi möhkəmləndirici fazası olan alüminium ərintiləri üçün maksimum mexaniki xassələr (möhkəmləndirici fazası olan digər ərintilərlə müqayisədə) yüksək temperaturlarda yüksək temperaturlu termomexaniki emal (YTMO) nəticəsində əldə edilə bilər (şəkil 2). Bu, çox güman ki, həddindən artıq doymuş bərk məhlulun köhnəlmə kinetikasi ilə əlaqədardır, çünki burada daha mürəkkəb tərkibli Al_2CuMg olan bir faza əmələ gəlir ki, bu da yüksək temperaturlu termomexaniki emal zamanı 200 °C -ə qədər uzun müddət qızdırma zamanı krstallaşmış quruluşun dayanıqlılığını təmin edir. Buradan belə görünür ki, termo-mexaniki emal qarışıq tərkibli alüminium ərintilərini özünə tabe etməyə çalışır

Müxtəlif müəlliflərin tədqiqatlarında alüminium-mis-litium tərkibli alüminium ərintilərinə deformasiya dərəcəsinin təsiri (tabılma ilə köhnəlmə əməliyyatı arasında) üstəlik, tədqiq edilən ərintilərin hər birində litium tərkibi Al_2CuLi birləşmənin əmələ gəlməsi üçün lazım olan miqdarla uyğun gəlirdi. Beləliklə, tədqiqatlar nəticəsində ərintilərdə möhkəmliyin 4-dən 16%-ə qədər yük-səlməsi müşahidə olundu.

Müəyyən edilmişdir ki, Al-Cu-Li ərintilərinin tabılması və köhnəlməsi zamanı deforma-siyadan istifadə edərkən əhəmiyyətli dərəcədə möhkəmlik əldə edilə bilər – (dartılma gücündə 33% -ə qədər artım, axıcılıq həddi 90% -ə qədər, yüksək legirli ərintilər üçün. (möhkəmlənmiş fazasının miqdarı 8%-dən çoxdur) mütləq möhkəmlik həddində, və onun (150-200 °C) qızması zamanı stabilliyi azalır.

Termomexaniki emalla prosesi zamanı AB ərintisində yüksək plastikliyi saxlamaqla eyni zamanda yüksək bərklik də əldə edilmişdir: D95 ərintisində yüksək temperaturlu termomexaniki emaldan sonra bərklik 5-10%-ə qədər yüksəlmişdir. Al-Mg ərintilərində dislokasiyaların yerini dəyişməklə korroziyaya qarşı müqaviməti də xeyli yüksəltmək mümkün olmuşdur. AMT-11, (9,5-11,5% Mg, 0,05-0,15% Ti, 0,05-0,15% Be, 0,015-0,15% Zr, 0,1-0,5% Mn ərintilərində Be -un əlavə edilməsi qüsurların əmələ gəlmə ehtimalını yüksəldir, nə zaman ki bu ərintilər Ti+Zr və ya Ti+Zr+Mn liqaturları ilə legirlənir, həmin vaxt bu ərintilərdə qüsurların əmələ gəlmə ehtimalı azalır. Termomexaniki emalla AMT -11

ərintisində 400°C temperatur intervalında deformasiya mü-qaviməti 40%-ə qədər azaldılır, ilkin bərkimiş pəstahlarda və 200°C -də və 1, 5 və 100 saat saxla-maqla köhnəlməyə məruz edirlər.



Şəkil 2. Yüksək temperaturlu termomexaniki emalın ərintilərin mexaniki xassələrinə təsiri:

Al + 4%; b – Al + 4%Cu + 1,5% Mg; v- Al + 0,95% Mg + 0,55% Si 1-adi termiki emal; 2- termomexaniki emal

ALINAN NƏTİCƏLƏR:

1. Deformasiya zamanı strukturda olan austenit dənələrində yeni ayrılma sərhədləri əmələ gəlir ki, bu da rekristallaşma prosesinin intensivliyinin deformasiya dərəcəsindən və temperaturundan asılıdır

2. Yüksək tempearturlu termomexaniki emaldan sonra poladların mexaniki xassələri kompleks şəkildə yüksəlmişdir.

3. Yüksək temperaturlu termomexaniki emal prosesi nəticəsində nəinki po-ladln mexani-ki xassələri yüksəlir, hətta dənənin forma və ölçülərində əhəmiyyətli dəyişiklik müşa-hidə edilir

İSTİFADƏ EDİLƏN ƏDƏBİYYAT

1. Rosenthai A. C. "Modern Metals", 1994, v, XX, № 4; p.27-34
2. Sfeel, 1964, v, 154, № 4; p.26-27
3. Бернштейн М. Л. «Термомеханическая обработка металлов и сплавов» Издательство, Металлургия, Москва, 1968. Том 1 и 2.
4. Глазунов С. Г., Хорев А. И., Поляк Э.В. «Металловедение и термическая обработка металлов», 1965.
5. Бернштейн М. Л., Полянская Л. В. «Труды секции Металловедение и термическая обработки. НТО Машпром. Машгиз, 1960.
6. Бокштейн С. З., Кишкин С. Т., Мороз Л. М. «Процессы диффузия, структура и свойства металлов. Издательство. «Наука» 1965, с.177

UOT 621.385.632

QEYRİ-BİRCİNS VƏ ANİZOTROP MÜHİTLİ İFRAT YÜKSƏK TEZLİKLİ DALĞAÖTÜRƏN SİSTEMİN MODELƏŞDİRİLMƏSİ

ƏLİ XƏLİLOV

Azərbaycan Texniki Universiteti
ali.khalilov31@gmail.com

XÜLASƏ

Məqalədə qeyri-bircins və anizotrop mühitli ifrat yüksək tezlikli dalğaötürən sistemin modelləşdirilməsi məsələsinə baxılmış və anizotrop mühitli ifrat yüksək tezlikli dalğaötürənin yeni riyazi modelləri alınmışdır. Anizotrop mühitli təbəqələrlə əhatə olunan dalğaötürən sistemlərin elektrodinamik analizi aparılmış və ideal keçirici müstəvidə yerləşən anizotrop təbəqədən müstəvi elektromaqnit dalğasının necə əks olunması mexanizmi təyin edilmişdir. Anizotrop və anizotrop-ferrit mühitli dalğaötürənlərin riyazi modelləri alınmış və müəyyən edilmişdir ki, məxsusi dalğa özünəməxsus dispersiya xarakteristikasına malikdir. Nazik anizotrop təbəqə üçün ikitərəfli təxmini sərhəd şərtləri təyin edilmiş və təxmini sərhəd şərtlərini əldə etmək məqsədilə kompleks amplitudlar üçün Maksvel tənliklər sisteminin integral formadan istifadə edilmişdir. İkitərəfli təqribi sərhəd şərtlərini təyin edən zaman anizotrop mühitdə yaranan çarpaz qütbləşmə hadisəsi nəzərə alınmışdır.

Açar sözlər: qeyri-bircins mühit, anizotrop mühit, dalğaötürən, ifrat yüksək tezlik diapazonu, modelləşdirmə.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ВОЛНОВЫХ СИСТЕМ С НЕОДНОРОДНЫМИ И АНИЗОТРОПНЫМИ СРЕДАМИ

РЕЗЮМЕ

В статье рассмотрен вопрос моделирования сверхвысокочастотных волноводных систем с неоднородной и анизотропной средой и получены новые математические модели сверхвысокочастотного волновода с анизотропной средой. Проведен электродинамический анализ волноведущих систем, окруженных слоями анизотропной среды, и определен механизм отражения плоской электромагнитной волны от анизотропного слоя, расположенного на идеально проводящей плоскости. Получены математические модели волноводов с анизотропной и анизотропно-ферритовой средами и установлено, что характеристическая волна имеет уникальную дисперсионную характеристику. Определены двусторонние приближенные граничные условия для тонкого анизотропного слоя, а для получения приближенных граничных условий использована интегральная форма системы уравнений Максвелла для комплексных амплитуд. При определении двусторонних приближенных граничных условий учитывалось явление кроссполаризации в анизотропной среде.

Ключевые слова: неоднородная среда, анизотропная среда, волновод, сверхвысокочастотный диапазон, моделирование.

SIMULATION OF MICROWAVE WAVEGUIDE SYSTEMS WITH INHOMOGENEOUS AND ANISOTROPIC MEDIA

ABSTRACT

The article considers the issue of modeling microwave waveguide systems with an inhomogeneous and anisotropic medium and obtains new mathematical models of a microwave waveguide with an anisotropic medium. An electrodynamic analysis of waveguide systems surrounded by layers of an anisotropic medium is carried out, and the mechanism of reflection of a plane electromagnetic wave from an anisotropic layer located on a perfectly conducting plane is determined. Mathematical models of waveguides with anisotropic and anisotropic-ferrite media are obtained and it is established that the characteristic wave has a unique dispersion characteristic. Two-sided approximate boundary conditions for a thin anisotropic layer are determined, and the integral form of the system of Maxwell equations for complex amplitudes is used to obtain approximate boundary conditions. When determining the two-sided approximate boundary conditions, the phenomenon of cross-polarization in an anisotropic medium was taken into account.

Keywords: inhomogeneous medium, anisotropic medium, waveguide, microwave range, simulation.

1. Giriş

Anizotrop mühitin elektromaqnit xassələrini təsvir etmək üçün iki ümumi qəbul edilmiş material parametrləri, dielektrik nüfuzluğu ε və maqnit nüfuzluğu μ kifayət deyil. Əlavə χ anizotroppluluq parametridən istifadə olunur [1, s. 21-29, 2, s. 2142-2145, 3, s. 22664-22669]. Qeyd edək ki, sağ istiqamətli sarğılara əsaslanan anizotrop mühit üçün $\chi > 0$, sol istiqamətli sarğılar üçün isə $\chi < 0$. Mühitin anizotroppluluq xassələri onun diskret strukturu ilə bağlıdır və davamlı mühitə keçid zamanı özünü göstərməyi dayandırır ($l/\lambda \rightarrow 0$, burada l - anizotrop mikroelementin xətti ölçüsüdür). Süni anizotrop mühitin tədqiqi təxminən 1987-ci ildən intensiv şəkildə aparılır. Varadan, Laxtakia, Engheta və başqalarını elektromaqnit sahəsinin belə mühitlərlə qarşılıqlı təsiri nəzəriyyəsinin baniləri hesab etmək olar.

Anizotrop mühitin elektrodinamik xüsusiyyətlərinin öyrənilməsində problemlərin bütün spektri iki sinfə bölünür. Birinci sinfə güzgü-asimmetrik elementi seçməklə, onun üzərində elektromaqnit dalğasının difraksiyasını öyrənmək, ε , μ və χ parametrlərini təyin etməklə anizotrop xassələrə malik mühitin modelləşdirilməsi daxildir. Bu gün anizotrop elementlər olaraq metal sarğılar, ucları düz olan halqalar [4, s. 20, 5, s. 330, 6, s. 455], sarğı keçiricili sferalar [7, s. 211, 8, s. 3110, 9, s. 210], sarğı xətləri üzrə keçirici silindrlər [10, s. 825, 11, s. 46, 12, s. 4372], yunan hərfi Ω [13, s. 718, 14, s. 130, 15, s. 477] şəklində olan hissəciklər və s. elementlərdən istifadə edilir. Məsələnin ikinci sinfi verilmiş material tənliklərindən istifadə etməklə onun fiziki modelini dəqiqləşdirmədən anizotrop mühitin xassələrinin öyrənilməsi ilə bağlıdır. Burada əvvəllər qeyri-anizotrop mühit üçün nəzərdə tutulmuş bütün klassik elektrodinamik məsələlərin həlli nəzərdə tutulur.

2. Anizotrop mühitdə elektromaqnit dalğalarının yayılmasının halında riyazi modellərin işlənməsi

Sağ istiqamətli sarğılara əsaslanan anizotrop mühitdə mürəkkəb amplitudlar üçün Maksvel tənliklərini yazaq:

$$\text{rot}E = k_0(-i\mu H + \chi E), \text{rot}H = k_0(i\varepsilon E + \chi H), \quad (1)$$

Sadəlik üçün sahələrin z koordinatından asılı olmadığı fərziyyəsi altında ikiölçülü anizotrop mühiti nəzərdən keçiririk. Bu halda (1) vektor tənliklərindən E_z və H_z komponentlərinə (koordinat oxuna görə uzununa, heç bir sahə dəyişikliyi olmayan) görə iki birləşdirilmiş ikinci dərəcəli diferensial tənliyi ala bilərik:

$$\begin{aligned} \nabla_{\perp}^2 E_z + k_0^2(n^2 + \chi^2)E_z - 2ik_0^2\chi\mu H_z &= 0 \\ \nabla_{\perp}^2 H_z + k_0^2(n^2 + \chi^2)H_z + 2ik_0^2\chi\varepsilon E_z &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

burada $n = \sqrt{\varepsilon\mu}$ - mühitin sınma əmsalı, $\nabla_{\perp}^2 = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2$ - x və y koordinatlarına görə Laplas operatorudur.

$\chi = 0$ olduqda (2) tənlikləri birləşmədən çıxır və sınma əmsalı n olan dielektrik mühit üçün bircins Helmhols tənliklərinə keçir:

$$\begin{aligned} \nabla_{\perp}^2 E_R + k_0^2(n + \chi)^2 E_R &= 0 \\ \nabla_{\perp}^2 E_L + k_0^2(n - \chi)^2 E_L &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

(2) tənliklər sistemini həll etmək üçün aşağıdakı əvəzləməsindən istifadə edək:

$$E_z = E_R + E_L, \quad H_z = i \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} (E_R - E_L), \quad (3)$$

burada E_R və E_L - yeni naməlum koordinat funksiyalarıdır.

(3) tənliyini (2)-də yerinə qoysaq, E_R və E_L funksiyaları üçün bircins Helmhols tənliklərini alırıq:

$$\begin{aligned} \nabla_{\perp}^2 E_R + k_0^2 (n + \chi)^2 E_R &= 0 \\ \nabla_{\perp}^2 E_L + k_0^2 (n - \chi)^2 E_L &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

(4) tənlikləri yayılma sabitləri ilə iki elektromaqnit dalğasının müstəqil yayılmasını təsvir edir:

$$k_{R,L} = k_0 (n \pm \chi). \quad (5)$$

Göstərmək olar ki, yayılma sabiti k_R sağ dairəvi polyarlaşmalı elektromaqnit dalğasına, k_L isə sol dairəvi polyarlaşmalı elektromaqnit dalğasına uyğundur.

Dielektrik mühit $\chi = 0$ olduqda (5) ifadələrindən $k_R = k_L = k_0 n$ alınır ki, bu da dalğa ədədi $k = k_0 \sqrt{\varepsilon \mu}$ olan sonsuz dielektrik mühitdə bir müstəvi dalğanın yayılmasına uyğundur.

Beləliklə, qeyri-məhdud kiral mühitin normal dalğaları (5) düsturları ilə müəyyən edilən sağ və sol dairəvi polyarlaşmaları və müxtəlif dalğa ədədləri k_R və k_L olan iki dalğadır.

Məlum olduğu kimi, qeyri-anizotrop mühitdə ($\chi = 0$) normal dalğalar elektrik (E) və maqnit (H) dalğaları, eləcə də onların xətti kombinasiyalarıdır. Onlar həm xətti, həm də ümumiyyətlə elliptik polyarlaşmaya malik ola bilərlər. Dielektrik mühitdə elektrik və maqnit dalğaları eyni dalğa ədədlərinə malikdir $k_R = k_0 \sqrt{\varepsilon \mu}$, yəni degenerativdir. Anizotrop mühitdə yalnız fərqli dalğa ədədlərinə malik olan sağ dairəvi polyarlaşmalı və sol dairəvi polyarlaşmalı dalğalar mövcud ola bilər ki, bu da degenerasiyanın aradan qaldırılmasına gətirib çıxarır.

(5) ifadələrindən görünür ki, sağ istiqamətli sarğılara əsaslanan qeyri-məhdud anizotrop mühitdə sağ dairəvi polyarlaşmış dalğasının faza sürəti ($v_R = \omega / k_R$) həmişə sol dairəvi polyarlaşmış dalğasının faza sürətindən ($v_L = \omega / k_L$) az olur. Aşkar görünür ki, sol istiqamətli sarğılar əsasında modelləşdirilmiş anizotrop mühitdə, əksinə, sağ dairəvi polyarlaşmalı dalğanın faza sürəti sol dairəvi polyarlaşmalı dalğadan daha böyükdür: $v_R > v_L$.

Material tənlikləri (3) ilə təsvir edilən biizotrop mühitdə sağ dairəvi polyarlaşmalı və sol dairəvi polyarlaşmalı dalğalarının dalğa ədədləri üçün ifadələr fərqli formada olur:

$$k_{R,L} = k_0 \left(\sqrt{n^2 - \zeta^2} \pm \chi \right)$$

(4) ifadəsi nəzərə alınmaqla naməlum vektor funksiyaları $E_R = \{E_{Rx}, E_{Ry}, E_{Rz}\}$ və $E_L = \{E_{Lx}, E_{Ly}, E_{Lz}\}$ birinci tərtib vektor tənliklərinin həllidir:

$$\nabla_{\perp} \times E_{R,L} - k_{R,L} E_{R,L} = 0. (6)$$

Beləliklə, elektromaqnit sahəsinin anizotrop mühitdə iki E_R və E_L dalğalarının sahələrinin superpozisiyası kimi təqdim edilməsi Maksvel tənliklərinin həlli məsələsini iki müstəqil birinci tərtib vektor diferensial tənliklərinin həllinə qədər azaldır.

Anizotrop mühitdə hər hansı E , H sahəsini əks dairəvi polyarlaşmaları olan iki sahənin cəmi kimi təsvir etmək olar:

$$E = E_R + E_L, H = H_R + H_L, (7)$$

burada

$$E_{R,L} = \frac{E \mp iZH}{2}, H_{R,L} = \frac{E \pm iZ^{-1}E}{2}, Z = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}.$$

Bu ifadəni (3) material tənliyində yerinə yazsaq, alarıq:

$$D_{R,L} = \varepsilon_{R,L} E_{R,L}, B_{R,L} = \mu_{R,L} H_{R,L}, (8)$$

burada

$$\varepsilon_{R,L} = \varepsilon \left(1 \pm \frac{\chi}{n} \right), \mu_{R,L} = \mu \left(1 \pm \frac{\chi}{n} \right).$$

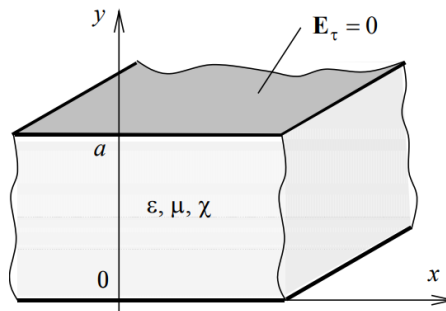
(8) ifadəsi sağ dairəvi polyarlaşmalı dalğa üçün kiral mühitin ε_R və μ_R maddi parametrlərə malik olduğunu nəzərdə tutur. Sol dairəvi polyarlaşmalı dalğa üçün isə ε_L və μ_L [14, s. 128, 15, s. 478] parametrləri olur. Bu sağ və sol dairəvi polyarlaşmalı dalğalar üçün anizotrop mühitin fərqli sınıma göstəricilərə malik olmasına gətirib çıxarır.

3. Anizotrop təbəqələri olan düzbucaqlı dalğaötürən strukturların riyazi modelləri

Anizotrop təbəqəli dalğaötürücülərdə dalğaların yayılma xüsusiyyətlərini nəzərdən keçirək. Məsələnin həndəsi təsviri şəkil 1-də göstərilmişdir. Qalınlığı a olan anizotrop təbəqə hər iki tərəfdən mükəmməl keçirici sonsuz müstəvilərlə məhdudlaşır. Fərz edirik ki, dalğa ötürücü Ox oxu boyunca qeyri-məhduddur, onun uzunluğu boyunca heç bir sahə dəyişikliyi baş vermir və elektromaqnit sahəsinin z koordinatından asılılığı aşağıdakı formaya malikdir:

$$E(y, z) = e(y)e^{-i\gamma z}, H(y, z) = h(y)e^{-i\gamma z},$$

burada $e(y)$ və $h(y)$ naməlum funksiyaları y koordinatı boyunca sahələri müəyyən edir, γ - hər hansı xüsusi dalğanın yayılma sabitidir.



Şəkil 1. Yastı bircins doldurulmuş anizotrop dalğaötürən

e_x və h_x toplananları bir-biri ilə əlaqələnməmiş iki ikinci tərtib diferensial tənliklər sistemindən müəyyən edilir:

$$\begin{aligned} \left(\frac{d^2}{dy^2} + k_0^2 n_c^2 - \gamma^2 \right) e_x - \frac{\chi}{\varepsilon} \left(\frac{d^2}{dy^2} - k_0^2 n_c^2 - \gamma^2 \right) h_x &= 0 \\ \left(\frac{d^2}{dy^2} + k_0^2 n_c^2 - \gamma^2 \right) h_x - \frac{\chi}{\mu} \left(\frac{d^2}{dy^2} - k_0^2 n_c^2 - \gamma^2 \right) e_x &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

burada $n_c = \sqrt{\varepsilon\mu - \chi^2}$.

(9) ifadəsində və bundan sonra simmetriya üçün $h \Rightarrow -ih$ əvəzləməsi edilir. (9) tənliklər sistemindən e_x, h_x komponentlərini təyin etmək üçün iki əlaqəsiz dördüncü tərtib diferensial tənlik almaq olar və onlara aşağıdakı sərhəd şərtlərini vermək olar:

$$\left\{ \left(\frac{d^2}{dy^2} + k_0^2 n_c^2 - \gamma^2 \right)^2 - \frac{\chi^2}{\varepsilon\mu} \left(\frac{d^2}{dy^2} - k_0^2 n_c^2 - \gamma^2 \right)^2 \right\} e_x(y) = 0 \quad (10)$$

$$e_x|_{y=0,a} = 0$$

$$\left\{ \left(\frac{d^2}{dy^2} + k_0^2 n_c^2 - \gamma^2 \right)^2 - \frac{\chi^2}{\varepsilon\mu} \left(\frac{d^2}{dy^2} - k_0^2 n_c^2 - \gamma^2 \right)^2 \right\} h_x(y) = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial h_x}{\partial y} \Big|_{y=0,a} = 0$$

Elektromaqnit sahəsi vektorlarının qalan tangensial komponentləri üçün ifadələr Maksvel tənliklərindən alınır və aşağıdakı kimi olur:

$$e_z = -\frac{1}{k_0 n_c^2} \left[\mu \frac{\partial h_x}{\partial y} - \chi \frac{\partial e_x}{\partial y} \right], \quad h_z = -\frac{1}{k_0 n_c^2} \left[\varepsilon \frac{\partial e_x}{\partial y} - \chi \frac{\partial h_x}{\partial y} \right].$$

(10), (11) sərhəd məsələlərini həll edərək alırıq:

$$\begin{aligned} e_x(y) &= A_1 \cos(h_R y) + A_2 \sin(h_R y) + A_3 \sin(h_R y) + A_4 \sin(h_L y) \\ h_x(y) &= B_1 \cos(h_R y) + B_2 \sin(h_R y) + B_3 \cos(h_L y) + B_4 \sin(h_L y) \end{aligned} \quad (12)$$

burada $h_{R,L}^2 = k_{R,L}^2 - \gamma^2$ - anizotrop dalğaötürəndə sağ və sol dairəvi polyarlaşmalı dalğaların yayılma sabitləri, $k_{R,L} = k_0(\sqrt{\varepsilon\mu \pm \chi})$; $A_j(j=1,4)$; $B_j(j=1,4)$ - (9) tənliyi ilə bir-biri ilə əlaqələnməmiş naməlum sabitlərdir.

(12) ifadəsində (9) ifadəsini istifadə edərək naməlum sabitlərin sayını iki dəfə azaltmaq olar:

$$\begin{aligned} e_x(y) &= A_1 \cos(h_R y) + A_2 \sin(h_R y) + A_3 \cos(h_L y) + A_4 \sin(h_L y) \\ h_x(y) &= \frac{1}{Z} \{ A_1 \cos(h_R y) + A_2 \sin(h_R y) - A_3 \cos(h_L y) - A_4 \sin(h_L y) \} \end{aligned} \quad (13)$$

burada $Z = \sqrt{\mu/\varepsilon}$ - dalğa müqavimətidir.

Aşkar görünür ki, (13) ifadəsinə görə sahənin komponentləri özlüyündə sağ və sol dairəvi polyarlaşmalı dalğaların superpozisiyasını ifadə edir:

$$e_x(y) = e_R(y) + e_L(y), \quad h_x(y) = \frac{1}{Z} \{e_R(y) - e_L(y)\},$$

burada

$$e_R(y) = A_1 \cos(h_R y) + A_2 \sin(h_R y), \quad e_L(y) = A_3 \cos(h_L y) + A_4 \sin(h_L y).$$

İdeal-keçirici müstəvilərdə

$$e_x(y=0, a) = 0, \quad \left. \frac{dh_x}{dy} \right|_{y=0, a} = 0,$$

sərhəd şərtlərindən istifadə edərək yastı bircins doldurulmuş anizotrop dalğaötürən üçün dispersiya tənliyini alırıq:

$$1 - \cos(h_R a) \cos(h_L a) + \frac{1}{2} \left(\alpha + \frac{1}{\alpha} \right) \sin(h_R a) \sin(h_L a) = 0, \quad (14)$$

burada $\alpha = k_R h_L / (k_L h_R)$.

$\chi = 0$ olduqda dispersiya tənliyi (14) müstəvi bircins doldurulmuş dielektrik dalğaötürücüsünün xüsusi dalğalarının yayılma sabitlərinin düsturuna çevrilir:

$$\gamma = \sqrt{k_0^2 \varepsilon \mu - \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2}, \quad m = \overline{0, \infty}.$$

(14) ifadəsində $\gamma=0$ həddini yerinə qoymaqla, yastı bircins doldurulmuş anizotrop dalğaötürücüsünün öz dalğalarının kəsilmə tezliklərini təyin etmək üçün düstur alırıq:

$$\omega_m = \frac{\pi c m}{a \sqrt{\varepsilon \mu}}, \quad m = \overline{0, \infty}. \quad (15)$$

$m = 0$ üçün (15)-dən belə çıxır ki, $\omega_0 = 0$. Bu, dispersiyaya malik olmayan sağ və sol dairəvi polyarlaşmalı dalğaların iki xüsusi dalğasının müstəvi dalğaötürəndə yayılmasına uyğundur.

Aşkar görünür ki, anizotrop dalğaötürücüsünün kəsilmə tezliklərinin (15) düsturuna χ anizotropluluq parametri daxil deyil və ω_m qiymətlərinin yastı dielektrik dalğaötürücüsünün kəsilmə tezlikləri ilə üst-üstə düşür.

Əgər anizotrop mühitin xassələrini təsvir etmək üçün material tənliklərdən istifadə edilsə, onda ω_m xüsusi dalğaların kəsilmə tezlikləri üçün ifadələr fərqli olacaqdır:

$$\omega_m = \frac{\pi c m}{a \sqrt{(\varepsilon + \mu \xi^2) \mu}}, \quad m = \overline{0, \infty}.$$

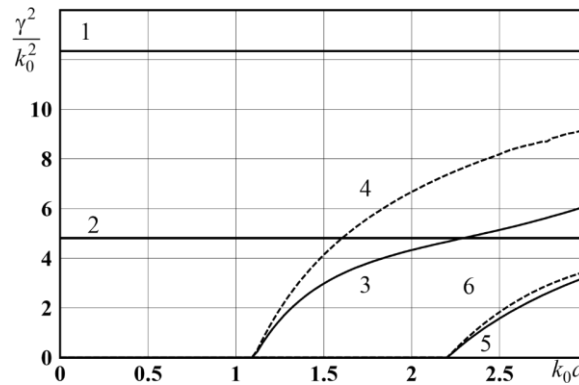
Beləliklə, material tənliklərindən istifadə edərək anizotrop mühiti təsvir edərkən, müstəvi anizotrop dalğaötürücüsünün kəsilmə tezlikləri anizotrop admitansdan ξ asılıdır və müstəvi dielektrik dalğaötürücüsünün kəsilmə tezliklərinə ω_m nisbətən aşağıya doğru sürüşdürülür. ξ parametri artdıqca bu sürüşmə artır.

Anizotropluluğu olan dalğaötürücülərinin öz dalğalarının əsas xassəsi bifurkasiya hadisəsidir ki, o, ω_m kəsilmə tezliyində bir xüsusi dalğanın deyil, iki sağ və sol dairəvi polyarlaşmalı dalğaların baş verməsindən ibarətdir.

Şəkil 2-də normallaşdırılmış yayılma sabitlərinin γ^2/k_0^2 -nin normallaşdırılmış dalğa ədədindən k_0a asılılıqları göstərilmişdir. Hesablamalar aşağıdakı parametrlərə görə aparılmışdır: $\varepsilon = 3,5$, $\mu = 2,2$, $\chi = 0,3$.

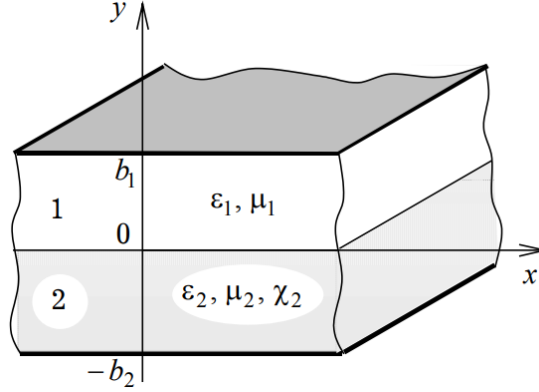
Anizotrop mühitin sağ istiqamətli elementlərlə modelləşdirildiyi fərz edilmişdir. Şəkil 2-dən görünür ki, keçirici müstəvilərin olması səbəbindən, dispersiya olmadan sağ və sol dairəvi polyarlaşmalara malik iki dalğa dalğaötürəndə yayıla bilər (əyri 1 və 2). $\chi \rightarrow 0$ olduqda bu dalğalar yayılma sabiti $\gamma = k_0\sqrt{\varepsilon\mu}$ olan bir T dalğasına çevrilir. Belə bir strukturun bütün digər məxsusi dalğaları (3, 4 və 5, 6 ayrıləri) dispersiyaya malikdir və dupletlərə bölünürlər, hər cütdən bir dalğa sağ istiqamətli dairəvi polyarlaşmaya ilə, digəri isə sol istiqamətli olur. Rejim sayının artması ilə parçalanma dərəcəsi nəzərə çarpacaq dərəcədə azalır və $m \rightarrow \infty$ hüdudunda (m - rejim nömrəsidir) dublet dalğaları bir dalğaya çevrilir.

Məlum olduğu kimi, dielektrik doldurma ilə bircins doldurulmuş düzbucaqlı dalğaötürəndə öz dalğalarının degenerasiyası baş verir, məsələn, düzbucaqlı dalğaötürənin E və H dalğaları eyni kəsmə tezliklərinə və eyni dispersiya xüsusiyyətlərinə malikdir. Anizotrop mühitə malik dalğaötürənlərdə bu degenerasiya aradan qaldırılır və məxsusi dalğaları dubletlərə bölünür, hər bir məxsusi dalğa özünəməxsus dispersiya xarakteristikasına malikdir.



Şəkil 2. Yastı bircins doldurulmuş anizotrop dalğaötürənin dispersiya xüsusiyyətləri

Anizotrop-dielektrik dalğaötürənlərin öz dalğalarının oxşar xassələrinin həndəsi təsviri şəkil 3-də göstərilən müstəvi ikiqatlı anizotrop-dielektrik dalğaötürənin analizində aşkar edilmişdir. Bu ötürmə xətti material parametrləri ε_2 , μ_2 , χ_2 olan b_2 qalınlığında kiral təbəqədən 2 və nüfuzluğu ε_1 , μ_1 olan b_1 qalınlığında dielektrik təbəqədən 1 ibarətdir. Yastı dalğaötürən hər iki tərəfdən ideal keçiricikli sonsuz müstəvilərlə məhdudlaşır. Bundan başqa, Ox oxu boyunca sahə dəyişikliyinə ehtiyac yoxdur və anizotrop dalğaötürənin Ox oxu boyunca qeyri-məhdud olduğunu fərz edirik.



Şəkil 3. Yastı ikiqatlı anizotrop-dielektrik dalğaötürən

2-ci anizotrop təbəqədəki elektromaqnit sahəsinin komponentləri düz bərabər doldurulmuş anizotrop dalğaötürəndəki kimi müəyyən edilir:

$$\begin{aligned} e_x^{(x)}(y) &= e_R(y) + e_L(y) \\ h_x^{(2)}(y) &= \frac{1}{Z^{(2)}} \{e_R(y) - e_L(y)\} \end{aligned} \quad (16)$$

burada

$$\begin{aligned} e_R(y) &= A_1 \cos(\gamma_{\perp R} y) + A_2 \sin(\gamma_{\perp R} y) \\ e_L(y) &= A_3 \cos(\gamma_{\perp L} y) + A_4 \sin(\gamma_{\perp L} y) \end{aligned}$$

$\gamma_{\perp R,L}^2 = k_{R,L}^2 - \gamma^2$ - 2-ci oblastda sağ və sol dairəvi polyarlaşmalı dalğaların eninə dalğa ədədləri, $k_{R,L} = k_0(\sqrt{\epsilon_2 \mu_2} \pm \chi_2)$, $Z^{(2)} = \sqrt{\mu_2 / \epsilon_2}$, $A_j (j = \overline{1,4})$ - məchul sabitlərdir.

$e_z^{(2)}$ və $h_z^{(2)}$ toplananları anizotrop mühir üçün Maksvel tənliklərindən təyin olunur. $e_x^{(1)}$ və $h_x^{(1)}$ toplananlarını dielektrik qatında təyin etmək üçün aşağıdakı sərhəd məslələri qoyulur:

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{dy^2} e_x^{(1)}(y) + \gamma_{\perp}^2 e_x^{(1)}(y) &= 0 & e_x^{(1)} \Big|_{y=b_1} &= 0 \\ \frac{d^2}{dy^2} h_x^{(1)}(y) + \gamma_{\perp}^2 h_x^{(1)}(y) &= 0 & \frac{dh_x^{(1)}}{dy} \Big|_{y=b_1} &= 0 \end{aligned} \quad (17)$$

burada $\gamma_{\perp}^2 = k_0^2 \epsilon_1 \mu_1 - \gamma^2$ oblastında eninə dalğa ədədidir.

Sərhəd məsləsinin (17) həlli aşağıdakı şəkli alır:

$$\begin{aligned} e_x^{(1)}(y) &= B_1 \{ \sin(\gamma_{\perp} y) - \operatorname{tg}(\gamma_{\perp} b_1) \cos(\gamma_{\perp} y) \} \\ h_x^{(1)}(y) &= B_2 \{ \sin(\gamma_{\perp} y) + \operatorname{ctg}(\gamma_{\perp} b_1) \cos(\gamma_{\perp} y) \} \end{aligned} \quad (18)$$

burada B_1 və B_2 - məchul sabit əmsallardır.

$e_z^{(1)}$ və $h_z^{(1)}$ toplananları dielektrik mühit üçün Maksvel tənliklərindən təyin olunur.

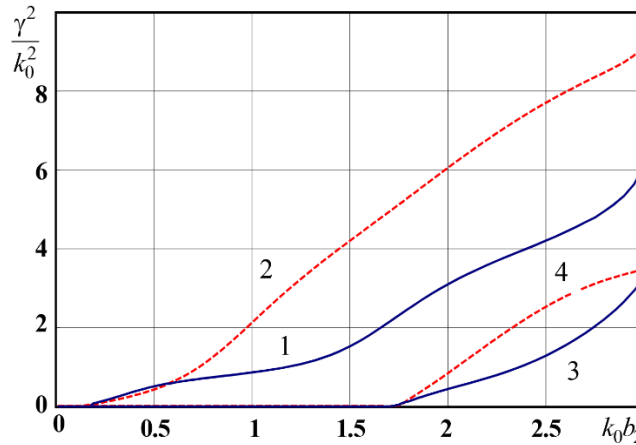
Sərhəd şərtlərindən

$$e_{x,z}^{(1)}\Big|_{y=0} = e_{x,z}^{(2)}\Big|_{y=0}, \quad h_{x,z}^{(1)}\Big|_{y=0} = h_{x,z}^{(2)}\Big|_{y=0}, \quad e_x^{(2)}\Big|_{y=-b_2} = 0, \quad \frac{dh_x^{(2)}}{dy}\Big|_{y=-b_2} = 0.$$

Naməlum sabitlərə $A_j (j = \overline{1,4})$ və $B_j (j = \overline{1,2})$ görə altı xətti cəbri tənliklər sistemi alınır. Baxılan dalğaötürən üçün əsas təyinedicinin sıfıra bərabərliyindən dispersiya tənliyi təyin edilir. İkiqat anizotrop-dielektrik dalğaötürən üçün dispersiya tənliyi [16, s. 413, 17, s. 110]-da analitik formada təqdim edilmişdir. $\chi = 0$ olduqda o, müstəvi ikiqatlı dielektrik dalğaötürənin LE və LM dalğalarının yayılmasını təsvir edən iki müstəqil dispersiya tənliyinə parçalanır.

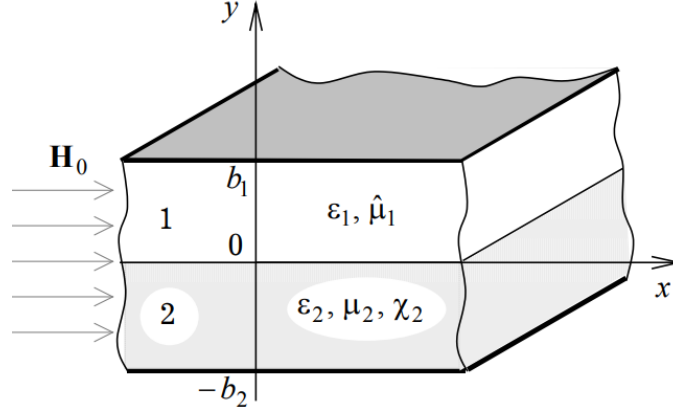
Şəkil 4-də təbəqə parametrləri $\varepsilon_2 = 3,5$, $\mu_2 = 2,2$, $\chi_2 = 0,3$, $\varepsilon_1 = \mu_1 = 1$, $k_0 b_1 = 3$ olan müstəvi ikiqatlı anizotrop-dielektrik dalğaötürənin xüsusi dalğalarının normallaşdırılmış yayılma sabitlərinin γ^2/k_0^2 anizotrop təbəqəsinin normallaşdırılmış qalınlığından $k_0 b_2$ asılılıqları göstərilmişdir. Bu strukturda sərhədsiz anizotrop mühitin normal dalğaları ilə üst-üstə düşən k_R və k_L (şəkildə göstərilməyib) yayılma sabitləri ilə iki dispersiyasız dalğa yayılır. Strukturun bütün digər məxsusi dalğaları (əyri 1, 2 və 3, 4) dispersiyaya malikdir və dubletlərə bölünür. Qatlardan birinin anizotropluğu bifurkasiya rejiminə gətirib çıxarır, lakin parçalanma əyrilərinin davranışı bircins doldurulmuş anizotrop dalğaötürənin müvafiq asılılıqlarından fərqlənir. Xüsusilə, bölünmə rejimlərinin hər biri üçün bölünmə dalğalarının eyni faza sürəti ilə yayıldığı, yəni dublet dalğaların birinə degenerasiya edildiyi müəyyən bir tezlik var. Bu tezlikdən yuxarı tezliklərdə degenerasiya aradan qaldırılır. Lakin bu halda sol dairəvi polyarlaşmalı dalğa dalğaötürəndə sağ dairəvi polyarlaşmalı dalğadan daha yüksək sürətlə yayılır. Rejim sayı artdıqca degenerasiyanın qaldırıldığı tezlik kəsilmə tezliyinə yaxınlaşır [18, s. 765, 19, s. 248, 20, s. 22].

Beləliklə, anizotrop dalğaötürəndə bir və ya bir neçə təbəqənin kirallığı anizotropluğu məxsusi dalğalarının degenerasiyasını aradan qaldırır, onların hər biri özünəməxsus dispersiya xarakteristikasına malikdir və EH və ya HE tipli hibrid dalğa kimi təsnif edilə bilər.



Şəkil 4. Yastı ikiqatlı anizotrop-dielektrik dalğaötürənin dispersiya xarakteristikaları

Yuxarıda nəzərdən keçirilən ötürmə xətlərindən daha zəngin xüsusi dalğa spektrinə malik yastı anizotrop-ferrit dalğaötürənin həndəsi təsviri şəkil 5-də göstərilmişdir. Bu dalğaötürən qalınlığı b_1 olan ferrit təbəqəsindən (oblast 1) (dielektrik keçiriciliyi ε_1 və maqnit keçiriciliyi tensoru $\hat{\mu}_1$ ilə xarakterizə olunur) və parametrləri $\varepsilon_2, \mu_2, \chi_2$ olan b_2 qalınlığında anizotrop təbəqədən (oblast 2) ibarətdir. Ferrit təbəqəsi $H_0 = (H_0, 0, 0)$ gücündə sabit bir maqnit sahəsi ilə maqnitlənir. Dalğaötürənin Ox oxu boyunca sonsuz olduğunu qəbul edirik.



Şəkil 5. Yastı ikiqatlı anizotrop-ferrit dalğaötürən

Ferritin Ox oxu boyunca maqnitləşdiyi zaman onun maqnit keçiriciliyi tenzoru aşağıdakı formaya malikdir [21, s. 20, 22, s. 1811, 23, s. 2015]:

$$\hat{\mu}_1 = \begin{pmatrix} \mu_{\parallel 1} & 0 & 0 \\ 0 & \mu_1 & i\mu_{a1} \\ 0 & -i\mu_{a1} & \mu_1 \end{pmatrix}$$

burada $\mu_1 = 1 - \frac{A\alpha}{1-\alpha^2}$, $\mu_{a1} = \frac{A}{1-\alpha^2}$, $A = k_0^{-1}k_M$, $\alpha = k_0^{-1}k_H$, $\mu_{\parallel 1} = 1$, $k_H = \gamma_0 H_0 / c$ və $k_M = 4\pi M_0 \gamma_0 / c$ - ferrit mühitin rezonans tezliyini təyin edir; γ_0 - hiromaqnit nisbəti, $4\pi M_0$ - ferritin doyma maqnitlənməsidir.

Ferrit qatda $e_x^{(1)}$ və $h_x^{(1)}$ toplananlarını ikinci tərtib diferensial tənliklərdən təyin edirik:

$$\left[\frac{d^2}{dy^2} + k_0^2 \varepsilon_1 \begin{Bmatrix} \mu_{\perp 1} \\ \mu_{\parallel 1} \end{Bmatrix} - \gamma^2 \right] \begin{Bmatrix} e_x^{(1)} \\ h_x^{(1)} \end{Bmatrix} = 0 \quad (19)$$

burada $\mu_{\perp 1} = \mu_1 (1 - \mu_{a1}^2 / \mu_1^2)$

Burada və sonra simmetriya üçün $h \Rightarrow -ih$ əvəzlənməsindən istifadə edilmişdir. Aşağıdakı sərhəd şərtlərindən istifadə edərək

$$e_x^{(1)} \Big|_{y=b_1} = 0, \quad \frac{dh_x^{(1)}}{dy} \Big|_{y=b_1} = 0.$$

(19) tənliyinin həllini aşağıdakı kimi yazı bilərik:

$$\begin{aligned} e_x^{(1)}(y) &= B_1 \left\{ \sin(\gamma_{\perp,1} y) - \operatorname{tg}(\gamma_{\perp,1} y) \cos(\gamma_{\perp,1} y) \right\} \\ h_x^{(1)}(y) &= B_2 \left\{ \sin(\gamma_{\parallel,1} y) + \operatorname{ctg}(\gamma_{\parallel,1} y) \cos(\gamma_{\parallel,1} y) \right\} \end{aligned} \quad (20)$$

burada $\gamma_{\perp,1}^2 = k_0^2 \varepsilon_1 \mu_{\perp,1} - \gamma^2$, $\gamma_{\parallel,1}^2 = k_0^2 \varepsilon_1 \mu_{\parallel,1} - \gamma^2$, $B_{1,2}$ - məchul sabitlərdir.

Şəkil 6-da yastı ikiqat anizotrop-ferrit dalğaötürənin dispersiya xarakteristikası göstərilmişdir.

Sərhəd şərtlərindən

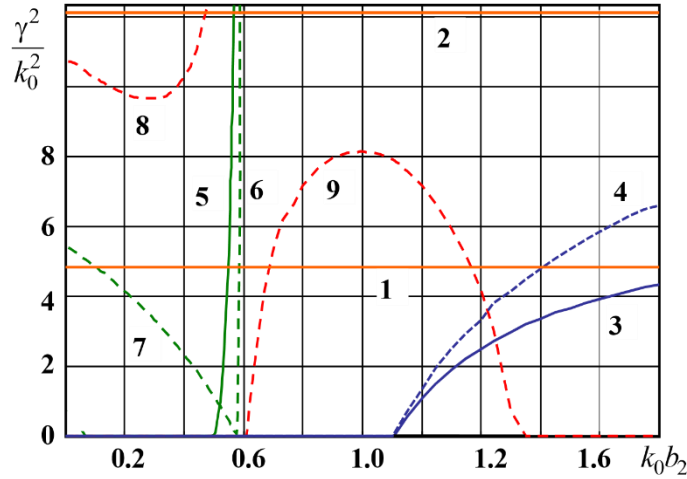
$$\begin{aligned} e_{x,z}^{(1)} \Big|_{y=0} &= e_{x,z}^{(2)} \Big|_{y=0}, \quad h_{x,z}^{(1)} \Big|_{y=0} = h_{x,z}^{(2)} \Big|_{y=0}, \\ e_x^{(1)} \Big|_{y=b_2} &= 0, \quad \frac{dh_x^{(2)}}{dy} \Big|_{y=b_2} = 0, \end{aligned}$$

məchul $A_j (j = \overline{1,4})$ və $B_j (j = \overline{1,2})$ sabitlərinə nəzərən altı xətti cəbri tənlik sistemi alınır. Əsas təyinedicinin sıfıra bərabərliyi şərtindən baxılan dalğaötürənin dispersiya tənliyi müəyyən edilir.

Şəkil 6-da parametrləri $\chi_2 = 0,3$, $\varepsilon_2 = 3,5$, $\mu_2 = 2,2$, $\varepsilon_1 = 11$, $k_0 b_1 = 2$, $k_M = 0,25$, $k_H = 0,5$ olan müstəvi ikiqat anizotrop-ferrit dalğaötürənin məxsusi dalğalarının normallaşdırılmış yayılma sabitlərinin γ^2 / k_0^2 anizotrop təbəqəsinin normallaşdırılmış qalınlığından $k_0 b_2$ asılılıqları göstərilmişdir.

Hesablama nəticələri göstərir ki, nəzərdən keçirilən dalğaötürən strukturda müvafiq olaraq anizotrop və ferrit təbəqələrinin olması səbəbindən yaranan dalğaların iki sinfi mövcuddur. 3 və 4 əyriləri yastı bircins doldurulmuş anizotrop dalğaötürənin məxsusi dalğalarına uyğun gəlir (onlar ikiqat parçalanma ilə xarakterizə olunur). 7 və 8 əyriləri bircins doldurulmuş ferrit dalğaötürəndə dalğaların dispersiya xüsusiyyətlərini təsvir edir.

Onlar yalnız normallaşdırılmış maqnitostatik rezonans tezliyinə qədər yayılırlar $k_H b_2$ və $k_M b_2$. 5, 6 və 9-cu əyriləri kəsmə tezlikləri $(k_H + k_M) b_2$ və $\sqrt{(k_H + k_M) k_H} b_2$ olan yavaş maqnitostatik dalğaları təsvir edir ($k_{H,M}$ parametrləri ferritdə ω_H və ω_M rezonans tezlikləri ilə bağlıdır). 1 və 2 əyriləri iki ideal ötürücünün olması səbəbindən dalğaötürəndə yayılan T dalğalarını təsvir edir.



Şəkil 6. Yastı ikiqat anizotrop-ferrit dalğaötürənin dispersiya xarakteristikası

Yastı anizotrop-ferrit dalğaötürənin məxsusi dalğalarının yayılmasının təhlilindən əldə edilən əsas nəticə ondan ibarətdir ki, nəzərdən keçirilən struktur yalnız dublet rejiminin kəsilmə tezliyindən $(k_0b_2)_{\text{cut-off}} \sim 1,05$ başlayaraq anizotrop xüsusiyyətlər (şəkil 6-da 3 və 4 ayrıləri) nümayiş etdirir. Normallaşdırılmış $k_0b_2 < (k_0b_2)_{\text{cut-off}}$ tezliklərində ötürmə xətti bircins ferrit dalğaötürənin xarakterik xüsusiyyətlərini nümayiş etdirir. Bu onunla əlaqədardır ki, iki təbəqənin müxtəlif dispersiya növləri - fəza (anizotrop mühit) və tezlik (ferrit mühit) olmasına baxmayaraq, dominant rol dalğaötürəndəki yayılma sahəsinin məhdudlaşdırılması ilə əlaqəli dispersiya oynayır.

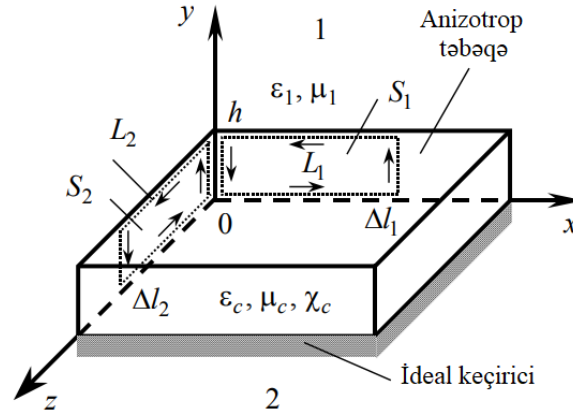
4. İdeal keçirici müstəvidə yerləşən nazik anizotrop təbəqə üçün birtərəfli təxmini sərhəd şərtlərinin təyini

Çox vaxt elektrodinamik məsələlərdə anizotrop təbəqələrin ideal keçirici səthlərdə yerləşdiyi strukturlar nəzərdən keçirilir. Aşağıda ideal keçirici müstəvidə yerləşən nazik kiral təbəqə üçün impedans birtərəfli təqribi sərhəd şərtlərinin çıxarılmasını nəzərdən keçirək. Birtərəfli təqribi sərhəd şərtləri elektromaqnit sahəsinin vektorlarının tangensial komponentlərini anizotrop təbəqənin parametrləri vasitəsilə birləşdirir. Məsələnin həndəsi təsviri şəkil 7-də göstərilmişdir. ϵ_c , μ_c , və χ_c material parametrləri ilə təsvir edilən h qalınlığında anizotrop təbəqəsi izotrop dielektrik qat 1 ilə ideal keçirici metal müstəvi (oblast 2) arasında yerləşir. Bu halda, ikitərəfli təqribi sərhəd şərtləri nazik anizotrop təbəqə üçün aşağıdakı şərtləri nəzərə almaq lazımdır:

$$E_x^{(2)} = E_z^{(2)} = 0 \quad (21)$$

Hədləri k_0h kiçik parametrinə birinci dərəcəyə mütənəsib saxlayaraq nazik anizotrop təbəqə üçün birtərəfli təqribi sərhəd şərtlərini alırıq:

$$\begin{aligned} E_x^{(1)} &= ik_0h\mu_c \left[H_z^{(1)} + \frac{1}{k_0^2 n_c^2} \frac{\partial^2 H_z^{(1)}}{\partial x^2} \right] \pm \frac{\chi_c h}{k_0 n_c^2} \frac{\partial^2 E_z^{(1)}}{\partial x^2} \\ E_z^{(1)} &= -ik_0h\mu_c H_x^{(1)} \pm \frac{k_0 h \chi_c}{2} E_x^{(1)} \end{aligned} \quad (22)$$



Şəkil 7. İdeal keçirici müstəvidə yerləşən nazik anizotrop təbəqə üçün birtərəfli təxmini sərhəd şərtlərinin çıxarılması sxemi

Birtərəfli təqribi sərhəd şərtləri (22) ifadəsində birinci dərəcəli kiçik $k_0 h$ parametrini ehtiva edən şərtlərə qədər birinci yaxınlaşmada yazılır və Oz koordinatı boyunca sahə dəyişiklikləri olmadıqda etibarlıdır.

Birinci oblastda E_x komponentini təyin edən (22) sisteminin birinci tənliyini daha ətraflı nəzərdən keçirək. Tutaq ki, elektromaqnit sahəsinin strukturunda E_x , H_z və H_y komponentləri olan anizotrop təbəqəyə paralel polyarlaşmış müstəvi elektromaqnit dalğası düşür. Birtərəfli təqribi sərhəd şərtlərini (22)-nin köməyiylə anizotrop təbəqədən əks olunan sahəni təsvir edərkən, onun elektromaqnit sahəsinin bütün altı komponentini ehtiva edəcəyini görmək asandır. Həqiqətən də, birinci tənliyin (22)-nin sağ tərəfindəki birinci hədd düşən dalğada (əsas komponent) mövcud olan E_x və H_z komponentləri arasındakı əlaqəni müəyyən edir. (22) ifadəsindəki ikinci toplanan düşən dalğa sahəsinin strukturunda (çarpaz qütbləşmiş komponent) olmayan E_z komponentinin görünüşünü müəyyən edir. Eynilə, (22) sisteminin ikinci tənliyi düşən sahənin H_z komponentini perpendikulyar polyarlaşma ilə əks olunan sahənin çarpaz polyarlaşmış komponentləri E_z və H_x ilə əlaqələndirir.

$\chi_0 = 0$ olduqda birtərəfli təqribi sərhəd şərtləri (22) bir-biri ilə asılı olmur (bu, çarpaz polyarlaşma hadisələrinin olmamasına uyğundur) və ideal keçirici müstəvidə yerləşən nazik dielektrik təbəqəni təsvir edir:

$$\begin{aligned} E_x^{(1)} &= ik_0 h \mu \left[H_z^{(1)} + \frac{1}{k_0^2 n^2} \frac{\partial^2 H_z^{(1)}}{\partial x^2} \right] \\ E_z^{(1)} &= -ik_0 h \mu H_x^{(1)} \end{aligned} \quad (23)$$

burada $n = \sqrt{\varepsilon \mu}$ - dielektrik təbəqənin sındırma göstəricisi, ε və μ - onun nisbi dielektrik və maqnit nüfuzluğudur.

(22) tipli ideal keçirici müstəvidə yerləşən nazik anizotrop təbəqə üçün birtərəfli təxmini sərhəd şərtləri aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$\begin{aligned} E_x^{(1)} &= ik_0 h \mu_c \left[H_z^{(1)} + \frac{1}{k_0^2 n_c^2} \frac{\partial^2 H_z^{(1)}}{\partial x^2} \right] \\ E_z^{(1)} &= -ik_0 h \mu_c H_x^{(1)} \end{aligned} \quad (24)$$

Aydındır ki, birtərəfli təqribi sərhəd şərtlərindən (22) fərqli olaraq (24) asılılığı çarpaz polyarlaşma hadisəsini nəzərə almır, çünki E_z komponenti yalnız H_x komponenti ilə, H_z komponenti isə yalnız E_x komponenti ilə əlaqədardır. Bundan əlavə, qeyd etmək lazımdır ki, (24) ifadəsi birtərəfli təqribi sərhəd şərtləri ilə formasına görə nazik dielektrik təbəqə üçün (23) ifadəsi ilə üst-üstə düşür və n_c^2 parametrində yalnız kiçik kvadrat əlavə χ_c^2 vasitəsilə təbəqənin anizotropuluğunu nəzərə alır: $n_c^2 : n_c^2 = \epsilon_c \mu_c - \chi_c^2$

Şəkil 2-də göstərilən strukturun z koordinatı boyunca məhdudlaşdığı və Ox oxu boyunca sonsuz uzandığı hal üçün birtərəfli təqribi sərhəd şərtlərini təqdim edək:

$$\begin{aligned} E_z^{(1)} &= -ik_0 h \mu_c \left[H_x^{(1)} + \frac{1}{k_0^2 n_c^2} \frac{\partial^2 H_x^{(1)}}{\partial z^2} \right] \mp \frac{\chi_c h}{k_0 n_c^2} \frac{\partial^2 E_x^{(1)}}{\partial^2} \\ E_x^{(1)} &= ik_0 h \mu_c H_z^{(1)} \mp \frac{k_0 h \chi_c}{2} E_z^{(1)} \end{aligned} \quad (25)$$

Elektromaqnit dalğasının Oz oxu boyunca yayıldığı anizotrop təbəqələri olan dalğaötürən strukturların hesablanmasında birtərəfli təqribi sərhəd şərtlərindən (25) formada istifadə etmək rahatdır.

Nəticələr

1. Anizotrop mühitli dalğaötürən üçün yeni riyazi modellər alınmış və dielektrik-anizotrop mühitin ayrılma sərhəddindən elektromaqnit dalğasının əks olunması zamanı çarpaz polyarlaşma prosesi aydınlaşdırılmışdır.

2. Anizotrop təbəqələrlə əks etdirən dalğaötürən strukturların elektrodinamik analizi aparılmış və ideal keçirici müstəvidə yerləşən anizotrop təbəqədən müstəvi elektromaqnit dalğasının əks olunması təyin edilmişdir.

3. Perpendikulyar polyarlaşmalı dalğanın düşməsi zamanı əsas və çarpaz polyarlaşmalı komponentlərinin əks olunma əmsallarının modullarının müxtəlif düşmə bucaqlarında anizotrop təbəqəsinin normallaşdırılmış qalınlığından asılılıqları qurulmuş və müəyyən edilmişdir ki, əsas komponentin anizotrop təbəqədən əks olunması rezonans xarakteri daşıyır və dalğanın normal düşməsi zamanı çarpaz polyarlaşmış komponent əks olunmur. Bu halda anizotrop mühit özünü izotrop dielektrik kimi aparır.

4. Yastı bircins doldurulmuş anizotrop dalğaötürəninə və anizotrop-ferrit dalğaötürəninə riyazi modelləri alınmış və məlum olmuşdur ki, məxsusi dalğa özünəməxsus dispersiya xarakteristikasına malikdir.

5. Nazik anizotrop təbəqə üçün ikitərəfli təxmini sərhəd şərtləri təyin edilmiş və təxmini sərhəd şərtlərini əldə etmək üçün kompleks amplitudlar üçün Maksvel tənliklər sisteminin integral formadan istifadə edilmişdir. Təyin edilmiş ikitərəfli təqribi sərhəd şərtləri anizotrop mühiddə yaranan çarpaz qütbləşmə hadisələrini nəzərə alır.

ƏDƏBİYYAT

- [1] G. Kerim, B. Suad. *A quantized water cycle optimization algorithm for antenna array synthesis by using digital phase shifters*, International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, Vol. 25(1), pp. 21-29, 2015.
- [2] H. I. Taisir, M. H. Zoubir. *Array Pattern Synthesis Using Digital Phase Control by Quantized Particle Swarm Optimization*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 58(6), pp. 2142-2145, 2010.
- [3] Z. Wang, Y. Song, T. Mu, Z. Ahmad. *A short-range range-angle dependent beam pattern synthesis by frequency diverse array*, IEEE Access, Vol. 6, pp. 22664-22669, 2018.
- [4] A. M. Lima, J. V. de Freitas, O. P. Lavor. *Analysis of the Resonator Element in Different Positions in the Circular Patch Microstrip Antenna*, Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications, Vol. 20(1), pp. 16-29, 2021.
- [5] A. M. Lima, N. H. O. Cunha, J. P. da Silva. *Effect of Metamaterial Cells Array on a Microstrip Patch Antenna Design*, Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications, Vol. 19(3), pp. 327-342, 2020.
- [6] J. Li, S. Ren, C. Guo. *Synthesis of Sparse Arrays Based on CIGA (Convex Improved Genetic Algorithm)*, Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications, Vol. 19(4), pp. 444-456, 2020.
- [7] S. Liang, T. Feng, G. Sun. *Sidelobe-level suppression for linear and circular antenna arrays via the cuckoo search-chicken swarm optimisation algorithm*, IET Microw. Antennas Propag., Vol. 11, pp. 209-218, 2017.
- [8] H. Singh, N. Mittal, U. Singh, R. Salgotra. *Synthesis of non-uniform circular antenna array for low side lobe level and high directivity using self-adaptive Cuckoo search algorithm*, Arab. J. Sci. Eng., Vol. 47, pp. 3105-3118, 2022.
- [9] G. Yang, Y. Zhang, S. Zhang. *Wide-band and wide-angle scanning phased array antenna for mobile communication system*, IEEE Open J. Antennas Propag., Vol. 2, pp. 203-212, 2021.
- [10] R. Q. Wang, Y. C. Jiao. *Synthesis of wideband rotationally symmetric sparse circular arrays with multiple constraints*, IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., Vol. 18, pp. 821-825, 2019.
- [11] L. Hui, C. Yikai, J. Ulrich. *Synthesis, Control, and Excitation of Characteristic Modes for Platform-Integrated Antenna Designs: A design philosophy*, IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 64(2), pp. 41-48, 2022.
- [12] R. Castillo, R. Ma, N. Behdad. *Platform-based electrically-small HF antenna with switchable directional radiation patterns*, IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 69(8), pp. 4370-4379, 2021.
- [13] Y. Liu, J. Zhang, A. Ren, H. Wang, C. Sim. *TCM-based heptaband antenna with small clearance for metal-rimmed mobile phone applications*, IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett., Vol. 18(4), pp. 717-721, 2019.
- [14] I. J. Islamov, E. G. Ismibayli, Y. G. Gaziyeu, S. R. Ahmadova, R. Sh. Abdullayev. *Modeling of the Electromagnetic Field of a Rectangular Waveguide with Side Holes*, Progress in Electromagnetics Research, Vol. 81, pp. 127-132, 2019.
- [15] I. J. Islamov, E. G. Ismibayli. *Experimental Study of Characteristics of Microwave Devices Transition from Rectangular Waveguide to the Megaphone*, IFAC-PapersOnLine, Vol. 51(30), pp. 477-479, 2018.
- [16] E. G. Ismibayli, I. J. Islamov. *New Approach to Definition of Potential of the Electric Field Created by Set Distribution in Space of Electric Charges*, IFAC-PapersOnLine, Vol. 51(30), pp. 410-414, 2018.
- [17] I. J. Islamov, E. G. Ismibayli, M. H. Hasanov, Y. G. Gaziyeu, S. R. Ahmadova, R. Sh. Abdullayev. *Calculation of the Electromagnetic Field of a Rectangular Waveguide with Chiral Medium*, Progress in Electromagnetics Research, Vol. 84, pp. 97-114, 2019.
- [18] I. J. Islamov, E. Z. Hunbataliyev, A. E. Zulfugarli. *Numerical Simulation of Characteristics of Propagation of Symmetric Waves in Microwave Circular Shielded Waveguide with a Radially Inhomogeneous Dielectric Filling*, International Journal of Microwave and Wireless Technologies, Vol. 14(6), pp. 761-767, 2022.
- [19] I. J. Islamov, M. H. Hasanov, M. H. Abbasov. *Simulation of Electrodynamical Processes in a Cylindrical-Rectangular Microwave Waveguide Systems Transmitting Information*, 11th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words, Perception and Artificial Intelligence, ICSCCW – 2021, pp. 246-253, 2021.
- [20] I. Islamov, E. Humbataliyev. *General Approaches to Solving Problems of Analysis and Synthesis of Directional Properties of Antenna Arrays*, Advanced Electromagnetics, Vol. 11(4), pp. 22-33, 2022.
- [21] M. M. S. Altufaili, A. N. Najaf, Z. S. Idan. *Design of circular-shaped microstrip patch antenna for 5G applications*, Telecommunication, Computing, Electronics and Control, Vol. 20, No 1, pp. 19-26, 2022.
- [22] N. Raheem, N. Qasem. *A compact multi-band notched characteristics UWB microstrip patch antenna with a single sheet of graphene*, Telecommunication, Computing, Electronics and Control, Vol. 18, No 4, pp. 1708-1818, 2020.
- [23] M. K. Abdulhameed, M. S. Mohamad Isa, Z. Zakaria, M. K. Mohsin. *Controlling the Radiation Pattern of Patch Antenna Using Switchable EBG*, Telecommunication, Computing, Electronics and Control, Vol. 16, No 5, pp. 2014-2022, 2018.

UOT: 672.762.2.134.535

СВОЙСТВА ВУКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА В ПРИСУТСТВИИ ГАЛОГЕНМЕТИЛ СОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

Г.Г.АЗИЗОВА¹, С.С.МАШАЕВА¹, Ф.А.АМИРОВА¹, И.Г.МОВЛАЕВ¹, Г.А.МАМЕДОВА²,
Д.Ш.МАМЕДОВ², С.А.ВАЛИЕВА², Ш.М.МАМЕДОВ²

Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности

Институт Радиационных Проблем Министерство Науки и Образования Азербайджанской Республики

shiraz.mamedov@gmail.com

РЕЗЮМЕ

Изучена влияние высокой температуры (150°C) на процесс вулканизации бутадиен-нитрильного каучука (БНК) с участием гексахлор-4,4- диметилбензофенолом (ГХДМБФ) позволяющих значительно улучшить технические свойства вулканизатов. Методом Фурье ИК-спектроскопии определена молекулярная структура в системе SKN-40+ГХДМБФ+ZnO. Из значений оптических плотностей полос поглощения при 967, 912, и 750 см⁻¹ рассчитано распределение двойных связей в макромолекуле БНК. С целью подтверждения данных о сравнительной структурирующей активности ГХДМБФ с БНК, а также для выбора эффективной дозировки ГХДМБФ определяли относительное количество геля, образующегося в модельных смесях на основе SKN-40M с участием 5,0 масс.ч. активатора оксид цинка в процессе прогрева при 150°C в течение 25 мин.

Показано, что концентрации эффективной поперечных связей (N_c) для модельных вулканизатов ниже, чем для смесь с серной вулканизирующей группой.

Ключевые слова: галоген содержащий, бутадиен-нитрильный каучук, вулканизация, эластомер, пластификация, спектр, структура, гелеобразование.

BUTADIEN-NITRIL KAUCUKLARI ƏSASINDA HALOGENMETİL TƏRKİBLİ BİRLƏŞMƏLƏRİN İŞTİRAKİ İLƏ ALINMIŞ VULKANİZATLARIN XASSƏLƏRİ

XÜLASƏ

Heksaxlor-4,4-dimetilbenzofenolun (HXDMBP) iştiraki ilə butadien-nitril kauçukunun (BNK) vulkanizasiya prosesinə yüksək temperaturun (150°C) təsiri tədqiq edilmişdir ki, bu da vulkanizatların texniki xüsusiyyətlərini əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırmağa imkan verir. SKN-40+HXDMBF+ZnO sistemindəki molekulyar quruluş Furje İQ spektroskopiyası ilə müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki, 967, 912 və 750 sm⁻¹-də udma zolaqlarının optik sıxlıqlarına əsasən, BNK-da makromolekulunda ikiqat əlaqənin paylanması hesablanmışdır. HXDMBF-nin BNK ilə müqayisəli struktur fəaliyyətinə dair məlumatları təsdiq etmək üçün, həmçinin HXDMBF-in effektiv dozasını seçmək üçün, SKN-40M əsasında model qarışıqlarda əmələ gələn gələn nisbi miqdarı 5,0 k.h. oksid sinkin iştirakı ilə 150°C-də 25 dəqiqə qızdırılmaqla müəyyən edilmişdir.

Göstərilmişdir ki, effektiv cərgəli əlaqələrin (N_c) qatılığı kükürdlü vulkanlaşma qrupunda digərlərinə nisbətən aşağıdır.

Açar sözlər: halogen tərkibli, butadien-nitril kauçuku, vulkanlaşma, elastomer, plastifikasiya, spektr, quruluş, gel əmələgəlmə.

PROPERTIES OF VULCANIZATES BASED ON NITRILE RUBBER IN THE PRESENCE OF HALOGENMETHYL-CONTAINING COMPOUNDS

ABSTRACT

The effect of high temperature (150°C) on the process of vulcanization of butadiene-nitrile rubber (BNR) with the participation of hexachloro-4,4-dimethylbenzophenol (HCDMBP) was studied, which makes it possible to significantly improve the technical properties of vulcanizates. The molecular structure in the system SKN-

40+HCDMBF+ZnO was determined by Fourier IR spectroscopy. Demonstrated that, from the optical densities of the absorption bands at 967, 912, and 750 cm^{-1} , the distribution of double bonds in the BNR macromolecule was calculated. In order to confirm the data on the comparative structural activity of HXDMBF with BNR, as well as to select the effective dose of HXDMBF, the relative amount of gel formed in model mixtures based on SKN-40M at 5.0 k.h. presence of zinc oxide was determined by heating at 150°C for 25 minutes.

Demonstrated that, the density of effective row connections (Nc) is lower in the sulphurous vulcanization group than in others.

Keywords: halogen-containing, butadiene-nitrile rubber, vulcanization, elastomer, plastification, spectrum, structure, gel formation.

Введение

Получение прочных эластомерных материалов с высоким сопротивлением тепловому старению одна из наиболее важных проблем сегодняшнего дня. Серные вулканизаты характеризуются высокой прочностью, однако, имеют довольно низкую теплостойкость.

Применение бессерных структурирующих систем обеспечивает образование термически устойчивых связей типа С-С и позволяет значительно расширить температурный интервал эксплуатации эластомерных материалов.

Известно использование в качестве структурирующих агентов феноло-формальдегидных смол, органических перекисей и т.д. [1,2]. При этом стойкость вулканизатов к тепловому старению повышается, но понижаются их сопротивление раздиру и эластичность по сравнению с серными. Имеются также указания на возможность структурирования эластомеров хлорсодержащими органическими соединениями, позволяющими получать вулканизаты с высокими модулями прочности, повышенным сопротивлением тепловому старению [3,4]. Однако как в отечественной, так и зарубежной литературе имеется весьма ограниченное число публикаций, посвященных данному вопросу и в частности, совершенно отсутствуют данные по исследованию структуры эластомера СКН-26 и СКН-40М.

В данной работе исследовалось структурирующее действие полигалогенметил содержащих соединений (ПГМСС) - ω -гексахлор-4,4-диметилбензофенона (ГХДМБФ) в эластомерных смесях на основе СКН-26 и СКН-40М.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования использовался промышленный бутадиен-нитрильный каучук СКН-26 и СКН-40М, имеющий в составе хлорсодержащие, эпоксидные и другие традиционные ингредиенты. Термообработку резиновых смесей проводили под прессом при 150°C в течение 30 мин [5].

Механическую пластикацию БНК осуществляли на лабораторных вальцах размером 160 x 320 мм при 20°C $\pm$ 10°C. Загрузка вальцев составляло 100 г фракцией $f=1:2$, готовили эластомерные смеси (масс.ч. на 100 масс. ч. каучука) 1. СКН-40М-100; оксид цинка 5.0, ГХДМБФ 2.0, эпоксидная смола 6.0, стеарин 2.0 и технический углерод (ПЗ24)-50. 2. СКН-26-100; оксид цинка-5.0; ; эпоксидная смола-6.0. стеарин-2.0 ГХДМБФ и 50 мас.ч технический углерод ПЗ24(наполнитель) и без него. Пластикацию проводили в течение 20 мин [6].

Структурирование смесей при прогреве исследовали в вискозиметре Муни [7]. Изменение молекулярной структуры каучука СКН-26 и СКН-40М определяли методом ИК-спектроскопии [8]. Золь-гель анализ проводили по методу [9], при этом экстрагировали образцы горячим ацетоном в течение 24 ч. высушивали их до постоянного веса, а затем вновь экстрагировали холодным бензолом в течение 30 ч. Эффективную концентрацию поперечных связей определяли методом равновесного набухания [9].

Физико-механические свойства наполненных резин определяли в соответствии с требованиями, предъявляемыми к проведению физико-механических испытаний [10-11]. Для сравнения проводили испытания эталонных резин на основе СКН-40М, применяемых в резиновой промышленности. Для изготовления формовых эластомерных материалов -технических изделий выбирали наполненные и ненаполненные смеси следующего состава (масс.ч. на 100 масс.ч. каучука):

Результаты и их обсуждение

Исследование структурирующей способности ГХДМБФ при совмещении с эластомерами СКН-40М и СКН-26 и эпоксидной смолой проводили ненаполненных системах в присутствии активаторов.

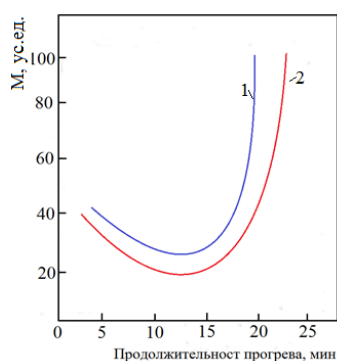


Рис.1. Зависимости вязкости по Муни от продолжительности прогрева при 150°C x 25мин. ненаполненных смесей на основе: 1-СКН-40М; 2-СКН-26,

Как видно из рис.1, по изменению вязкости по Муни модельных смесей на основе СКН-40М и СКН-26, содержащих 2,0 мас. ч. ГХДМБФ и 6,0 мас. ч эпоксидной смолы, в процессе прогрева при 150°C скорость структурирования повышается.

Таблица 1. Влияние прогрева на структурирующую способность ненаполненных смесей на основе каучука СКН-26 и СКН-40М (150С x25 мин)

Состав (мас.ч. на 100 мас.ч. каучука)				Начало структурирования, t_5 , мин		Характеристика скорости структурирования, $t_{35}-t_5$, мин	
1	2	3	4	1	2	1	2
СКН-40М	100	СКН-26	100	3.8	3.5	4.2	5.0
Окись цинка	5.0	Окись цинка	5.0				
ГХДМБФ	2.0	ГХДМБФ	2.0				
Эпоксидная смола ЭД-16	6.0	Эпоксидная смола ЭД-16	6.0				
Стеарин	1.0	Стеарин	2.0				
Наполнитель П324	50	Наполнитель П324	50				

Сравнение величины параметра $\tau_{35}-\tau_5$ (табл.1), характеризующего скорость структурирования (чем меньше $\tau_{35}-\tau_5$, тем выше скорость) показывает, что для эластомера СКН-40М (1) этот параметр незначительно выше, чем для СКН-26 (2). Это позволяет оценить структурирующую способность эластомера с предлагаемыми вулканизирующими системами.

С целью подтверждения данных структурирующей активности ГХДМБФ при его совмещении с эластомером была предпринята попытка выяснить направление их взаимодействия в исследуемых образцах. Для этого проводили исследования изменений, происходящих в модельных смесях при прогреве, методом ИК-спектроскопии. Полученные результаты приведены на рис.2. Видно, что существенные изменения происходят в спектральной области 2230 и 2320 см^{-1} [9]. Полоса поглощения при 2240 см^{-1} присутствующая в спектре каучука СКН-40М, обусловлена валентными колебаниями групп $-\text{C}\equiv\text{N}-$ [9]. Появление новой полосы в области, соседней с 2240 см^{-1} , ряд авторов приписывают образованию комплексных соединений групп $-\text{C}\equiv\text{N}-\text{C}$ хлоридами металлов.

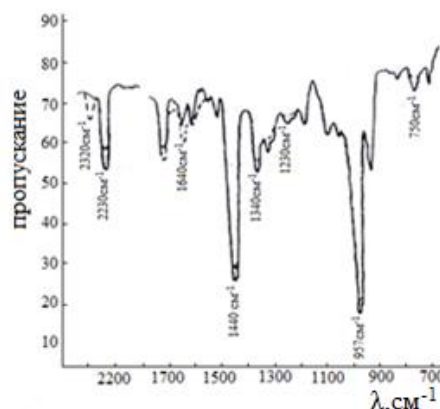


Рис.2. Изменения ИК-спектров в системе СКН-40М+ГХДМБФ+ZnO после прогрева при 150° С

(сплошная линия – до прогрева, пунктирная – после прогрева)

В ИК-спектрах заметно уменьшение интенсивности полосы поглощения при 750 см^{-1} , обусловленной колебаниями $\text{C}-\text{C}$ -связей [9], полосы при 1440 см^{-1} , которую относят к деформационным колебаниям связи $\text{C}-\text{H}$ в группе CH_2 (9), а также интенсивности полос 967 см^{-1} и 1340 см^{-1} , обусловленных соответственно внеплоскостными и деформационными колебаниями связи $\text{C}-\text{H}$ в группе $-\text{CH}=\text{CH}-$ транс конфигурации [9].

На основании наблюдаемых изменений в спектрах эластомера СКН-26 при совместном его прогреве с ГХДМБФ можно заключить, что при вулканизации протекают реакции с участием CH -групп, связанных с нитрильными группами, CH_2 -групп и двойных связей эластомерных молекул.

С целью подтверждения данных о сравнительной структурирующей активности ГХДМБФ с эластомером, а также для выбора эффективной дозировки ГХДМБФ определяли относительное количество геля [10,13], образующегося в модельных смесях с участием оксид цинка и с различными количествами вулканизирующих агентов в процессе прогрева при 150°С в течение 25 мин. Результаты представлены на рис.3.

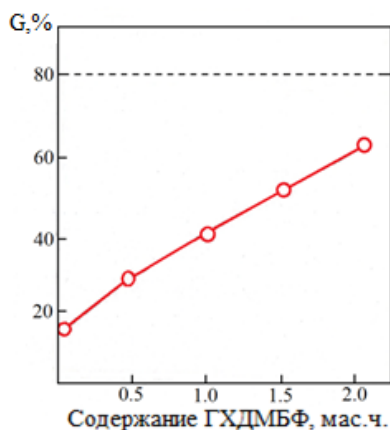


Рис.3. Зависимость гелеобразования в ненаполненных вулканизатах на основе СКН-26 от содержания ГХДМБФ (пунктирная линия – уровень содержания геля СКН-40М)

Как и следовало ожидать, содержание геля заметно возрастает с увеличением дозировки ГХДМБФ. Максимальное содержание геля (G_r) в модельных смесях приближается к значению, полученному для стандартной ненаполненной смеси на основе СКН-40М с серной вулканизующей группой. Таким образом, данные, приведенные на рис.3, подтверждают, что СКН-40М и СКН-26 при совмещении с ГХДМБФ и другими сструктурирующими системами не уступает по активности структурирования известным соединениям [13].

Значения эффективной концентрации поперечных связей (N_c) для модельных вулканизатов несколько ниже, чем для стандартной смеси с серной вулканизующей группой (рис.4).

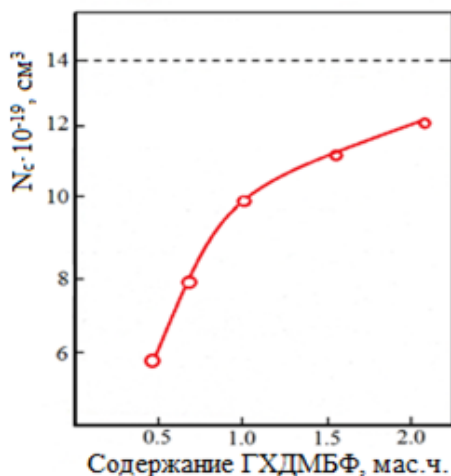


Рис.4. Зависимость концентрации эффективных поперечных связей (N_c) в СКН-40СМ от содержания ГХДМБФ (пунктирная линия – уровень содержания эффективных поперечных связей в СКН-40М с серной вулканизующей группой)

Этот факт не противоречит экспериментальным данным, полученным многими исследователями [13]. На основании результатов, полученных при исследовании вулканизации эластомера СКН-40М и СКН-26 с помощью ГХДМБФ, были сделаны выводы, что ГХДМБФ является эффективным вулканизирующим агентом для каучуков и

что в полученных вулканизатах образуются поперечные углерод-углеродные связи непосредственно между молекулами каучука.

В соответствии с существующими воззрениями на связь структуры вулканизатов с их свойствами можно предположить, что эластомеры с таким типом связей должны обладать необходимыми эксплуатационными качествами для работы в указанных условиях. Для проверки этого предположения были проведены расширенные исследования физико-механических свойств эластомеров, которые позволяют прогнозировать работоспособность эластомерных материалы в жидких агрессивных средах.

Данные, приведенные в табл.2, позволяют проследить влияние прогрева на ряд физико-механических показателей эластомеров и сопоставить свойства эластомерных материалов (ЭМ) на основе каучука СКН-40М, содержащего ГХДМБФ, эпоксидную смолу и другие ингредиенты свойствами серийных ЭМ. Можно видеть, что вулканизаты (ЭМ) на основе исследуемых эластомеров существенно превосходят серийные [4], ЭМ по сопротивлению тепловому старению.

Таблица 2. Сравнительные показатели эластомерных материалов на основе каучука СКН-40М, полученных в присутствии ГХДМБФ и эпоксидной смолы после эксплуатации в морской воде (I), нефтеносном (II) и глинистом (III) растворах. Режим испытаний: 150°C, 72 ч.

Показатели	Известная [3]	Предлагаемый
	Серная (C-Sx-C)	-C-C- связь
Условная прочность при растяжении (f_R), МПа		
I	9	12
II	11	14
III	13	16
Коэффициент теплового старения (I/ II)		
по прочности, f_R	0.45/0.60	0.68/0.74
по относительному удлинению ϵ_R	0.57/0.72	0.81/0.78
Накопление остаточной деформации, %		
I	135	97
II	86	63
III	69	45
Изменение массы после набухания (масс.%)		
I	135	97
II	86	63
III	63	50

Несмотря на то, что показатели динамической выносливости в обычных условиях у опытных ЭМ несколько ниже, чем у серийных, первые отличаются лучшими эксплуатационными характеристиками условиях повышенных температур за счет более высоких коэффициентов теплового старения и значительно меньшего набухания в агрессивных средах.

Таким образом, с точки зрения технологических свойств эластомерных смесей, а также физико-химических и физико-механических характеристик вулканизатов изложенные в настоящем сообщении результаты исследования показывают, что ГХДМБФ как органический сшивающий агент нитрильных эластомеров имеет существенное преимущество перед применяемыми настоящее время ускорителями

моносulfидными производными 2-меркаптобензотиазола. Учитывая кинетические особенности структурирования эластомерных смесей в присутствии ГХДМБФ, следует признать, что этот новый тип полигалогенметил содержащих структурирующих агентов представляет особый интерес для применения в производстве эластомерных материалов, так как по сравнению с производными меркаптобензотиазола большей мере отвечает требованиям развития перспективной технологии производства эластомерных материалов.

Заключение

Активирующая способность полигалоген содержащих соединений зависит не только от вида структурирующего агента, но и от типа используемого эластомера.

По данным ИК-спектроскопии установлено, что при прогреве систем СКН-26-ПВХ-30+ZnO+ГХДМБФ происходит образование комплексных соединений хлорида цинка с нитрильными группами эластомера.

Показано что, в реакциях структурирования бутадиен-нитрильного эластомера с помощью ГХДМБФ могут принимать участие третичные атомы углерода, входящие в полибутадиеновые участки структур в положении 1,2. Тем самым определяющее влияние на образование эффективных поперечных связей оказывают третичные углеродные атомы, связанные с нитрильной группой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shiraz Mamedov. Synthesis, processing and vulkanization of butadiene-nitril rubbers. Lap Lamber (Akademic Publishing) Germany.. p.348, 2015
2. Ш.М.Мамедов. Бутадиен-нитрильные каучуки и резины на их основе. Баку, Елм, с.280, 2001.
3. Блох С.А. Органические ускорители вулканизации и вулканизирующие агенты. М, - Химия, с.437, 2002
4. Б.А. Додакин. Химия эластомеров. М, Химия, с.311, 2011.
5. Кузьминский А.С. Физико-химические основы переработки и применение эластомеров. М., Химия. с.384, 2007.
6. Захаров Н.Д., Белозоров Н.В. Основные свойства резин и методы их определения. ЯПИ., 2006. с.288.
7. Кузнецов Е.В., Дивгун С.М., Бударина Л.А. Практикум по химии и физике полимеров. Л. Химия. с.384, 2007.
8. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. М. ИЛ..с.460, 2003
9. Рейсхфильд В.О., Еркова Л.И. Лабораторная практикум по синтетическим каучукам. Л., Химия, с.57-60, 2006.
10. Липатов Ю.С. Физико-химия многокомпонентных полимерных систем. Киев. Наука. Думка. с.88-101, 1998
11. Rustom Mody, David Gerrad, Jim Goodson Elastomers in the oil field. J. Rubber. Chem. Techn. v.86. №3. p.1285-1287, 2013.
12. Jian-Hua Ma, Su-He Zhao, Li-Qun Zhanq. Comparison of strukture and properties of two styrene – butadiene rubbers filled with carbon black, carbon silica dual – phaza filler, and silica. v.91. №3. p.1045-1055, 2015.
13. Julie Diani, Yannik Merckel, Mathias Bricu, Comprasion of stress- softeningqs in carbon blask filled butadiene rubber and styrene natural rubber. J. Pol. Sci/. v.7. №3. p.601- 608, 2016.

UOT:531

СВОЙСТВА ТРОЙНЫХ СОПОЛИМЕРОВ -СТИРОЛ-БУТАДИЕН-МЕТАКРИЛОВАЯ КИСЛОТА

АХУНДОВ И.А.

Институт Нефтехимических Процессов им.Ю.Г.Мамедалиева

Национальной Академии Наук Азербайджана

ilkin.akhundov@gmail.com

РЕЗЮМЕ

В работе приводятся результаты исследования комплекса физико-механических свойств синтезированных в присутствии металлоорганических каталитических систем тройных сополимеров - стирол-бутадиен-метакриловая кислота (СБМ) с различной характеристической вязкостью. Изучены такие свойства, как разрушающее напряжение, относительное удлинение, прочность на изгиб и сжатие, твердость по Бринелю, теплостойкость, показатель текучести расплава и т.д. Для всестороннего анализа структуры и свойств СБМ нами были проведены исследования их термомеханических характеристик по методу Канавца. Методом ступенчатого охлаждения исследованы dilatометрические кривые зависимости удельного объема от температуры. Изучено влияние 5.0 и 10%масс. СБМ на основные физико-механические и физико-химические свойства полимерной смеси на основе пластифицированного поливинилхлорида. Методами ИК-спектрального анализа идентифицирована структура макроцепи, приводится доказательная база по составу СБМ. Использование дериватографического метода анализа позволило установить отсутствие самого факта плавления синтезированного тройного сополимера. В работе Показано, что введение СБМ в состав поливинилхлорида позволяет существенным образом улучшить свойства полимерной смеси. Методом термомеханических исследований изучена зависимость деформации от температуры, по результатам которых установлено, что СБМ, как и акрилонитрил-бутадиен-стирольный пластик характеризуется тремя физическими состояниями: стеклообразным, высокоэластичным и вязкотекучим. Определены температурные области перехода из одного физического состояния в другое. Исследована возможность использования СБМ в смеси с ПВХ при различных соотношениях компонентов. Показано, что введение СБМ в состав пластифицированного ПВХ в количестве 5.0 и 10%масс. способствуют заметному повышению прочностных и теплофизических характеристик композиционных материалов. Методом dilatометрии в процессе ступенчатого охлаждения исследовано изменение зависимости удельного объема и свободного удельного объема от температуры для СБМ и его полимерных смесей с поливинилхлоридом. Показано, что рассматриваемый тройной сополимер относится к числу аморфных полимеров. Подтверждением этому являлось отсутствие фазового перехода первого рода, которое характерно для аморфных полимеров.

Ключевые слова: *тройной сополимер, стирол-бутадиен-метакриловая кислота, металлоорганический катализатор, разрушающее напряжение, относительное удлинение, твердость, прочность на изгиб, прочность на сжатие, поливинилхлорид, удельный объем, высокоэластическое состояние, стеклообразное состояние.*

STİROL-BUTADIEN-METAKRİL TURŞUSU ÜÇLÜ BİRGƏPOLİMERLƏRİNİN XÜSUSİYYƏTLƏRİ XÜLASƏ

Məqalədə metalüzvi katalitik sistemlər iştirakında sintez olunmuş və fərqli özlülüklərə malik olan stiro-l-butadien-metakril turşusu (SBM) üçlü birgəpolimerlərinin kompleks fiziki-mexaniki xassələrinin tədqiqinin nəticələri təqdim olunmuşdur. Qırılma gərginliyi, nisbi uzanma, əyilmə və sıxılma müqaviməti, Brinell üzrə sərtlilik, istiliyə davamlılıq, ərimədə axın indeksi və s. kimi xüsusiyyətlər öyrənilmişdir. SBM strukturunun və xassələrinin hərtərəfli təhlili məqsədlə Kanavets metodundan istifadə etməklə termomexaniki xüsusiyyətləri araşdırılmışdır. Xüsusi həcmnin temperaturdan asılılığının dilatometrik ayrılari pilləli soyutma üsulu ilə tədqiq edilmişdir. Plastifikasiya edilmiş polivinilxlorid və 5.0 və 10 % kütlə miqdarında SBM əsasında hazırlanmış polimer qarışığının əsas fiziki-mexaniki və fiziki-kimyəvi xassələri öyrənilmişdir. İQ spektral analiz üsulları ilə SBM makrozəncirinin strukturu identifikasiya edilmiş və məlumat bazasına əsasən sübut olunmuşdur. Derivatografik analiz metodunun istifadəsi sintez edilmiş üçlü birgəpolimerdə ərimənin olmadığını müəyyən etməyə imkan vermişdir. İşdə SBM-nin polivinilxlorid tərkibinə daxil

edilməsinin polimer qarışığının xüsusiyyətlərini əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırma biləcəyi göstərilmişdir. Deformasiyanın temperaturdan asılılığını öyrənmək üçün termomexaniki tədqiqatlar metodundan istifadə edilmişdir, onun nəticələrinə görə SBM-nin, akrilonitril-butadien-stirol plastilərik kimi, üç fiziki vəziyyətlə xarakterizə olunduğu aşkar edilmişdir: şüşə, yüksək elastik və özlü axıcı. Bir fiziki vəziyyətdən digərinə keçid temperaturları müəyyən edilmişdir. Komponentlərin müxtəlif nisbətlərində PVC ilə qarışıqda SBM-dən istifadənin mümkünlüyü tədqiq edilmişdir. SBM 5,0 və 10% kütlə miqdarında plastifikasiya edilmiş PVC tərkibinə daxil edilməsinin kompozit materialının möhkəmlik və istilik-fiziki xüsusiyyətlərinin nəzərəcarpacaq dərəcədə artmasına gətirib çıxardığı müəyyən edilmişdir. SBM və onun polivinilxloridlə polimer qarışıqları üçün xüsusi həcm və sərbəst xüsusi həcm temperaturdan asılılığının dəyişməsi pilləli soyutma prosesində dilatometriya üsulu ilə öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, nəzərdən keçirilən üçlü birləşən polimerlər amorf polimerlər sinfinə aiddir. Bu, amorf polimerlər üçün xarakterik olan birinci dərəcəli faza keçidinin olmaması ilə bir daha təsdiqlənmişdir.

Açar sözlər: terpolimer, stirol-butadien-metakril turşusu, metalüzvü katalizatorlar, qırılma gərginliyi, nisbi uzanma, bərklik, əyilmədə möhkəmlik, sıxılmada möhkəmlik, polivinilxlorid, xüsusi həcm, yüksək elastiklik halı, şüşə halı.

PROPERTIES OF TRIPLE COPOLYMERS -STYRENE-BUTADIENE-ETHACRYLIC ACID

ABSTRACT

The paper presents the results of a study for a complex of physical and mechanical properties of synthesized new types of triple copolymers - styrene-butadiene-methacrylic acid (SBM) with different intrinsic viscosity. Properties such as breaking stress, relative elongation, flexural and compressive strength, Brinell hardness, heat resistance, melt flow index, etc. have been studied. For a comprehensive analysis of the structure and properties of SBMs, we thoroughly studied their thermomechanical characteristics using the Kanavets method. The dilatometric curves of the dependence of the specific volume on temperature were studied by the method of stepwise cooling. The effect of 5.0 and 10% wt. SBM on the main physical-mechanical and physical-chemical properties of a polymer mixture based on plasticized polyvinyl chloride. Methods of IR spectral analysis identified the structure of the macro chain, the evidence basis on the composition of the SBM is given. The use of the derivatographic method of analysis made it possible to establish the absence of the very fact of melting of the synthesized triple copolymer. Also demonstrated in the work is the fact that the introduction of SBM into the composition of polyvinyl chloride can significantly improve the properties of the polymer mixture. Thermomechanical study method was used to study the dependence of deformation on temperature, with results clearly indicating that SBM, like acrylonitrile-butadiene-styrene plastic, is characterized by three physical states: glassy, highly elastic and viscous. The temperature regions of the transition from one physical state to another were determined. The possibility of using SBM in a mixture with PVC at various ratios of components was studied as well. It is shown that the introduction of SBM into the composition of plasticized PVC in the amount of 5.0 and 10% wt. contribute to a noticeable increase in the strength and thermal characteristics of composite materials. The change in the dependence of the specific volume and free specific volume on temperature for SBM and its polymer mixtures with polyvinyl chloride was studied by dilatometry in the process of stepwise cooling. It has been shown that the primarily considered triple copolymer belongs to the class of amorphous polymers. This was confirmed by the absence of a first-order phase transition, which is characteristic of amorphous polymers.

Keywords: triple polymer, styrene-butadiene-methacrylic acid, organometallic catalyst, breaking stress, relative elongation, stiffness, flexural strength, compressive strength, polyvinyl chloride, specific volume, high elasticity, glass state.

По мере совершенствования техники и технологии промышленного производства все больше внимания стало уделяться проведению комплекса исследований по модификации существующих промышленных образцов полимеров или же синтезу новых типов со специфическими свойствами [1-3]. В этой связи особый интерес привлекают исследования, направленные на получение новых типов сополимеров стирольных пластиков. Это обусловлено тем, что такие представители стирольных пластиков, как тройной сополимер акрилонитрил-бутадиен-стирол (АБС) или ударопрочный полистирол (УПС) относятся к числу прочных пластиков, которые перерабатываются в конструкционные изделия методом литья под давлением, экструзии и вакуум-пневмо-формования [4-6]. И, чем больше будет разновидностей

тройных сополимеров стирола, тем больше становятся возможности для выбора материала с требуемым набором свойств [7].

В этой связи, была предпринята попытка получить сравнительно новый тип тройного сополимера на основе таких мономеров, как стирол-бутадиен-метакриловая кислота (СБМ). В связи с чем, возникала необходимость в исследовании комплекса важнейших физико-механических и физико-химических свойств синтезированного полимера. Проведение подобных исследований позволит получить достаточно полную информацию для прогнозирования областей практического использования синтезированных материалов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Тройной сополимер стирол-бутадиен-метакриловая кислота (СБМ) синтезирован в Институте Нефтехимических Процессов имени академика Ю.Г.Мамедалиева, имеет плотность 1.05 г/см^3 , усадка 0.3%, удельное объемное электрическое сопротивление: $5 \cdot 10^{13} \text{ Ом/м}$.

Поливинилхлорид (ПВХ) пластифицированный, плотность 1.12 г/см^3 , разрушающее напряжение 21.5 МПа , Относительное удлинение 220%, модуль упругости при растяжении 8.0 МПа , прочность при сжатии 9.0 МПа , **Акрилонитрил-бутадиен-стирольный пластик (АБС)** плотность 1.05 г/см^3 , разрушающее напряжение 42 МПа , относительное удлинение 20%, модуль упругости при растяжении 2200 МПа , прочность при сжатии 47.2 МПа .

Физико-механические характеристики определяли по стандартным методикам: разрушающее напряжение при растяжении, предел текучести при растяжении и относительное удлинение в соответствии с ГОСТ 11262-80. **Предел прочности на изгиб** определяли в соответствии с ASTM D7264.

Твердость по Бринелю определяли в соответствии с ГОСТ 4670 — СТАНДАРТ 2015 (ISO 2039-1:2001). Образцы получали в виде пластин толщиной не менее 4 мм путем прессования при температуре $210\text{--}230^\circ\text{C}$.

Прочность на сжатие определяли на разрывной машине РМ-500 в соответствии с ГОСТ 4651 — 2014 (ISO 604:2002) при скорости подвижной траверсы равной 20 мм/мин .

Результаты испытания обработаны статистически по ГОСТ 14359-69. Для определения каждого показателя прочностных характеристик испытывалось по 5 образцов.

Показатель текучести расплава (ПТР) полимерных материалов определяли на капиллярном реометре марки MELT FLOW TESTER, CEAST MF50 (INSTRON, Италия) при температуре 190°C и нагрузке - 5 кг. Относительная ошибка эксперимента 5%.

Теплостойкость определяли по методу Вика в соответствии с ГОСТ -15088-2014. Скорость повышения температуры образца составляла $50^\circ/\text{час}$. По результатам 5-ти измерений по каждой композиции погрешность измерений не превышал 3-4 относ. %.

ПТР полимерных материалов определяли на капиллярном реометре марки MELT FLOW TESTER, CEAST MF50 (INSTRON, Италия) при температуре 190°C и нагрузке - 5 кг.

Дериватографический анализ проводили на дериватографе системы Паулик, Паулик и Эрдей.

INVENIO BRUKER ИК-Фурье научно-исследовательский интеллектуальный спектрометр широкого диапазона.

Термомеханические свойства определяли на приборе Канавца. Деформация измерялась при последовательно изменяющихся температурах (Т). При построении термомеханической кривой полимера $\Delta = f(T)$ очень важно охватить по возможности всю температурную область существования полимера – стеклообразное (кристаллическое), высокоэластическое и вязкотекучее состояния. Термомеханические кривые отражают все возможные физические, физико-химические и химические изменения, протекающие в образце в процессе изменения температуры опыта и, тем самым, позволяют получить достоверную информацию о значимых для переработки полимеров температурных переходах.

Дилатометрические исследования проводили на приборе ИИРТ-1 при нагрузке 5.3кг и в температурном диапазоне от 250°C до комнатной температуры.

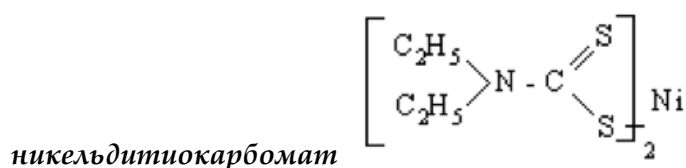
Удельное объемное электрическое сопротивление полимеров и их смесей определяли в Институте Радиационных проблем Национальной Академии Наук Азербайджана в соответствии с ГОСТ 20214-74. Прессование полимерных образцов для испытания проводили при температуре 160°C в течении 5 минут. Пленки имели толщину 150 мкм. Измерение объемного электрического сопротивления R (для дальнейшего расчета удельного объемного сопротивления ρ и удельной объемной электропроводности σ) на постоянном токе осуществляли с помощью тераомметра Е6-13А при напряжении 100v. Толщину образцов измеряли оптическим измерителем ИЗВ-2.

Диэлектрическую проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь определяли согласно ГОСТ 22372-77 на приборе imitans марки Е7-20.

Тройная сополимеризация бутадиена со стиролом и метакриловой кислотой проводилась в присутствии металлоорганических каталитических систем, в частности никельдитиокарбомат (Ni-ДТК) (металлкомплекс) и диэтилалюминийхлорида (сокатализатор) при следующих условиях (время = 2,5 час, P = 30-40 атм., концентр. Ni=10⁻⁴ мол/литр, Al:Ni =1500).

Таблица-1. Условие проведения тройной сополимеризации в присутствии катализатора

№	Металлкомплекс	Сокатализатор	Температура, С
10	Ni-ДТК	EtAlCl	50
12	Ni-ДТК	EtAlCl	120



Бутадиен - (C_4H_6), используемый в качестве мономера (выделен из фракции C_4), был получен в процессе пиролиза ЕР-300 в Сумгайыте, Азербайджанская Республика, и высушен оксидом алюминия.

Сополимеризацию проводили в автоклаве из нержавеющей стали, рассчитанном на высокое давление. Температуру в зоне реакции поддерживали ультратермостатом и измеряли термопарой регистрирующего устройства. Автоклав был снабжен мешалкой, рубашкой для охлаждения или нагрева и патрубками для ввода компонентов, растворителя и алюминийорганического соединения (сокатализатор). Давление в реакторе и исходном цилиндре контролировали манометром. Перед началом процесса реактор подключали к вакуумной системе, очищали от кислорода и влаги под вакуумом при температуре 65-70°C в течение 1-2 часов. Затем в реактор подают сухой аргон или азот. Сополимеризацию в основном проводили в среде ароматического растворителя. Приготовление растворов компонентов катализатора и доставку в реактор осуществляли в атмосфере аргона или азота. Исходное соотношение мономеров составляло 20%масс. стирола, 5.0% масс. метакриловой кислоты и остальное 75%масс. бутадиен. Компоненты реакционной смеси вводили в реактор следующим образом: металлокомплекс, раствор сокатализатора (Et_2AlCl) и, наконец, остаточное количество растворителя (через дозатор). По окончании реакции активный катализатор обеззараживали 10%-ным спиртовым раствором соляной кислоты. Сополимеры вакуумируют до постоянного веса после промывки и фильтрации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В связи с этим, для характеристики качества синтезированного полимера необходимо было использовать комплекс физико-химических и физико-механических методов анализа его структуры и свойств. Поскольку, синтезированный тройной сополимер это новый тип стирольных пластиков, представлялось необходимым использовать общеизвестный аналог тройного сополимера, который по составу (хотя-бы два сомономера) были бы идентичными. В связи с этим, для проведения сопоставительной оценки свойств наиболее близким по составу являлся акрилонитрил-бутадиен-стирольный сополимер (АБС).

В таблице-1 приводятся результаты исследования физико-механических и физико-химических характеристик СБМ полимеров и композиций на их основе. Из сопоставительного анализа данных в этой таблице можно установить, что свойства СБМ несколько отличаются от характеристик АБС-пластика. Характерные отличия проявляются в значительном возрастании прочностных характеристик, температуры размягчения, теплостойкости СБМ. Таким образом, замена одного только сомономера акрилонитрила на метакриловую кислоту и одновременно каталитический метод сополимеризации позволяет синтезировать совершенно новый тип тройного сополимера, который по своим технологическим показателям, структуре и свойствам принципиально отличаются от промышленных образцов стирольных сополимеров. Так, например, радикальный процесс сополимеризации акрилонитрила и стирола сопровождается их прививкой на бутадиеновый каучук с образованием графтсополимера АБС-пластика. Иначе говоря, часть полиакрилонитрила (ПНАК) и полистирола (ПС) располагается в боковой цепи полибутадиена. Другая часть

акрилонитрила и стирола расходуется на образование гомополимеров. В конечном итоге АБС-пластик представляет собой смесь чисто привитого сополимера с гомополимерами стирола и акрилонитрила, а также, сополимера стирола с акрилонитрилом. Следовательно, при радикальной сополимеризации синтезируется АБС-пластик, представляющий собой смесь четырех полимеров. В этой связи, будет уместно уточнить насколько нежелательным является образование побочных продуктов - гомополимеров. Во-первых, образование гомополимеров в процессе радикальной сополимеризации способствует формированию смеси полимеров и соответственно возрастает риск формирования несовместимых многофазных композиционных материалов. Во-вторых, статистическое формирование полимерных смесей существенным образом влияет на стабильность состава и качества сополимера, что является основополагающим фактором, влияющим на структуру и свойства конечного продукта.

Таблица-1. Физико-механические и теплофизические свойства СБМ и композиций на их основе.

№ №	Свойства	АБС	СБМ-1	СБМ-2	ПВХ пласти- фиц.	ПВХ+ 5%мас СБМ-1	ПВХ+ 10%мас СБМ-1
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Плотность, г/см ³	1.05	1.07	1.07	1.12	1.1	1.1
2	Разрушающее напряжение, МПа	42.0	47.4	50.9	21.5	23.8	25.9
3	Относительное удлинение, %	20	20	20	220	120	90
4	Модуль упругости при растяжении, МПа	2200	2857	3564	8.0	10.2	13.5
5	Прочность при сжатии, МПа	47.2	50.3	52.4	9.0	11.6	13.1
6	Теплостойкость по Мартенсу, °С	91	96	101	112	151	144
7	Температура размягчения, °С	108	112	118	78	82	85
8		115	121	129	33	35	35
9		3.8	4.9	5.6	5.8	5.5	5.5
10	Твердость по Бринеллю: МПа	5.2•10 ⁻⁴	7.4•10 ⁻⁴	6.7•10 ⁻⁴	7.2•10 ⁻⁴	6.6•10 ⁻⁴	6.6•10 ⁻⁴
11	Диэлектрическая проницаемость при 10 ⁶ Гц	5.0•10 ⁻¹³	9.5•10 ⁻¹³	9.3•10 ⁻¹³	9.0•10 ⁻¹³	9.0•10 ⁻¹³	9.0•10 ⁻¹³
	Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 ⁶ Гц						
	Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом/м						

Однако, в процессе синтеза СБМ все три компонента используются изначально в виде сомономеров, которые в присутствии металлоорганического катализатора способствует получению чистого тройного сополимера - СБМ, при котором практически исключается образование гомополимеров стирола (ПС) и метакриловой кислоты (ПМАК). Таким образом, принципиальное различие каталитического

процесса синтеза СБМ от промышленных образцов АБС-пластика, инициированных радикалами, заключается в индивидуальных особенностях распределения сомономеров в макроцепи. Совершенно очевидно, что сомомеры в макроцепи СБМ распределяются в виде блоков, молекулярная масса которых преимущественно будет определяться их концентрацией в исходной реакционной среде. Учитывая, что исходная концентрация стирола составляет 70%, бутадиена 25%, а МАК 5%, то есть основание утверждать о том, что молекулярная масса блоков полистирола в макроцепи будет наибольшей. Наряду с этим, низкая концентрация МАК в исходной смеси позволяет утверждать о статистическом характере ее распределения в макроцепи, т.е. между блоками ПС и полибутадиена. Принципиальное различие в самой структуре и составе СБМ и АБС сополимера предопределяло существование значительных различий в их физико-механических, физико-химических и теплофизических свойствах.

Вместе с тем, о качестве и перспективности использования полимера можно говорить и в том случае, когда она обладает способностью смешиваться и образовывать композиционные материалы и с другими общеизвестными промышленными полимерами. В данном случае речь идет о возможности получения технологически совместимых полимерных смесей с пластифицированным ПВХ. В задачу исследования входило получение композиционного материала с улучшенным комплексом свойств. Как видно из таблицы-1, введение 5.0 и 10% масс. СБМ в состав поливинилхлорида наблюдается существенное возрастание всех прочностных характеристик композиционных материалов. Сам факт такого возрастания прочности композиций на основе ПВХ с СБМ дает основание утверждать о технологической совместимости смешиваемых компонентов смеси. Установлено, также заметное возрастание теплофизических характеристик полимерных смесей. Все эти данные однозначно свидетельствуют в пользу того, что СБМ и его смеси с ПВХ являются конструкционными полимерными материалами, наделенными комплексом полезных физико-механических и теплофизических свойств, открывающими возможность их целенаправленного практического использования в различных областях техники и технологии [8].

Принимая во внимание, что СБМ относится к числу новых типов стирольных пластиков представлялось интересным, используя метод ИК-спектрального анализа, более подробно остановиться на изучении структуры макроцепи СБМ. ИК-спектры СБМ-1 и СБМ-2 были идентичными и поэтому для примера на рис.1 приводятся ИК-спектры СБМ-2. Согласно ИК-спектрам СБМ зафиксированы интенсивные полосы поглощения в области валентных колебаний бензольного кольца при 1449 см^{-1} . Появление плеча в области 1650 см^{-1} , а также, полосы поглощения в области 1153 и 1029 см^{-1} характеризуют обертоны частот валентных колебаний бензольного кольца стирола. Сильная полоса поглощения в области 1691 см^{-1} характеризует валентные колебания C=O групп в карбоновых кислотах МАК.

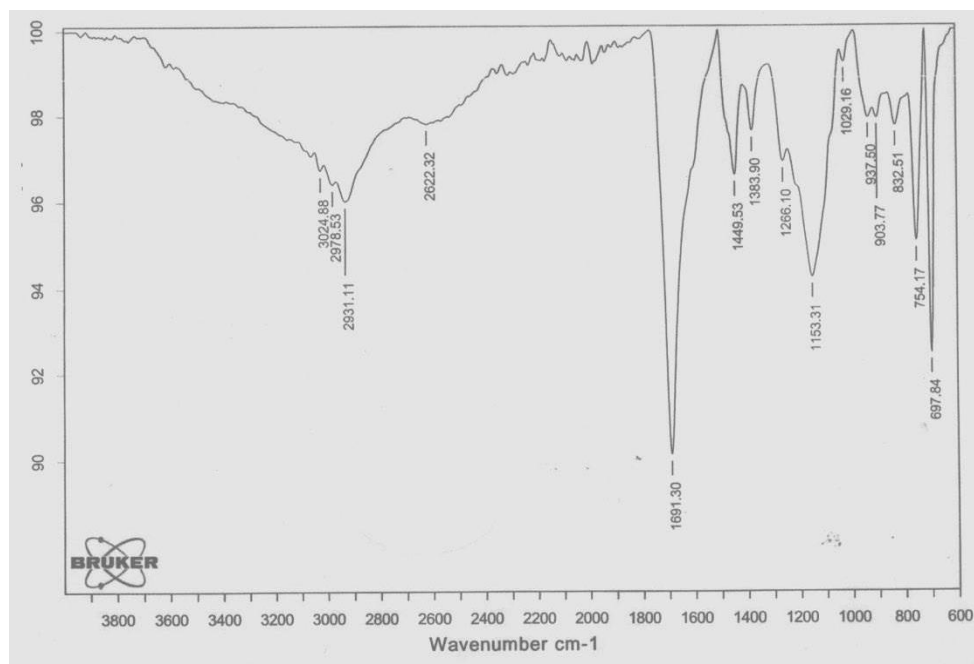


Рис.1. ИК-спектр СБМ-2.

Небольшие обертоны составных частот при 2622, 2931, 2978 и 3024 cm^{-1} , характеризуют карбоксильную группу – COOH .

На рис.2 приводятся дериватограмма СБМ-2. Анализируя кривые на этом рисунке можно установить, что для СБМ отсутствует область плавления. В интервале температур

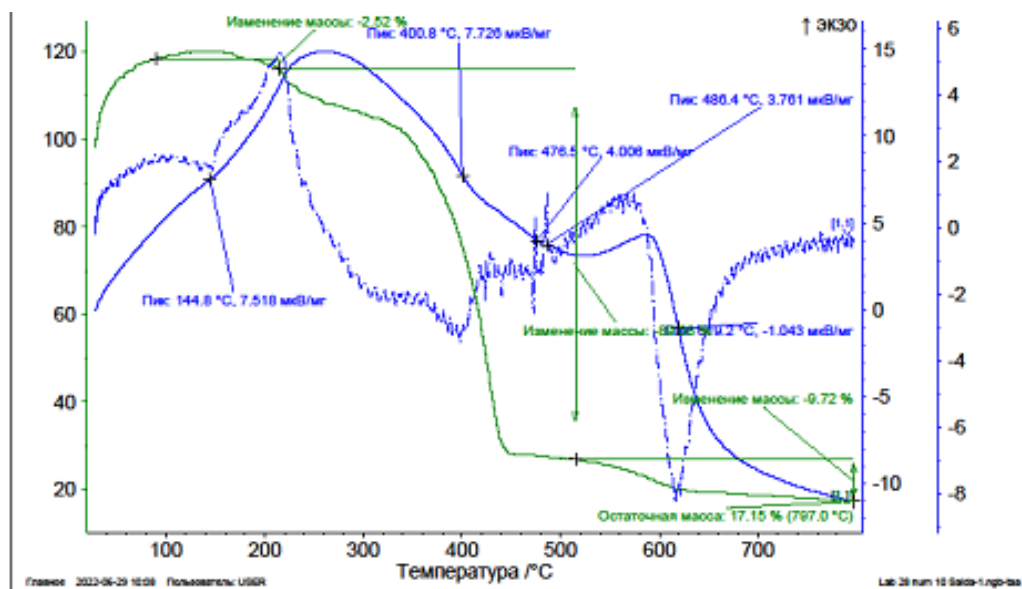


Рис.2. Дериватограмма СБМ-2

225 - 340°C начинается первая стадия, связанная с уменьшением веса образца, которая, по всей видимости, может быть связана с выделением имеющихся в составе СБМ остатков растворителей. Дальнейшее повышение температуры приводит к тому, что в интервале 401-440°C идет интенсивный процесс разложения образца. Образующаяся при 797°C зола составляет 17%.

Для того, чтобы придать полимерному материалу потребительские качества необходимо, чтобы он обладал способностью перерабатываться стандартными методами по переработке пластмасс. Для стирольных пластиков основными методами их переработки являются литье под давлением, вакуум-пневмо-формование и экструзия [9,10]. При оценке перерабатываемости СБМ и смесей ПВХ+СБМ необходимо было располагать данными о трех физических состояниях и температурах перехода из одного состояния в другое, характерные для аморфных пластиков: стеклообразное, высокоэластическое и вязкотекучее. Большую информацию об этих состояниях можно получить при исследовании термомеханических характеристик СБМ и их смесей методом Канавца.

Согласно данным, приведенным на рис.3, термомеханические кривые представленных образцов СБМ находятся в трех состояниях: стеклообразном,

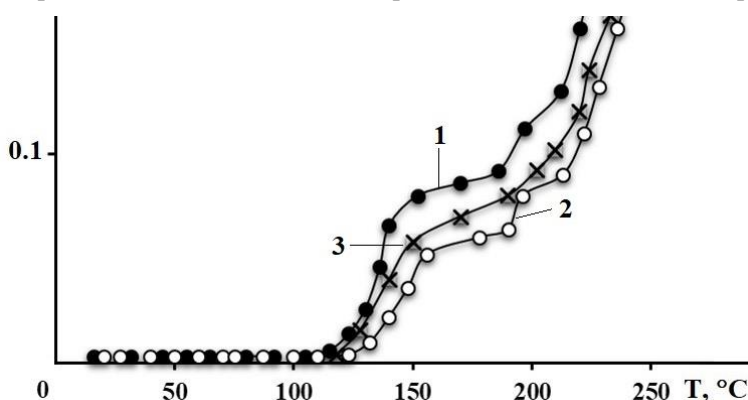


Рис.3. Термомеханические кривые зависимости деформации от температуры для образцов:
1- СБМ-1; 2- СБМ-2; 3- АБС-пластик.

высокоэластическом и вязкотекучем. Анализируя термомеханические кривые на этом рисунке можно заметить, что при температуре близкой к температуре размягчения СБМ происходит переход из стеклообразного в высокоэластическое состояние. При этом, на термомеханических кривых 3.1 и 3.2 образуется волнообразная деформационная кривая, который однозначно свидетельствует о том, что в трехкомпонентной системе процесс размягчения, перехода СБМ в высокоэластическое и вязкотекучее состояние протекает в зависимости от температуры с различной скоростью. Так, например, для СБМ-1 (кривая-3.1) процесс размягчения наступает при 112°C, а переход из стеклообразного в высокоэластическое состояние происходит при 142°C. Дальнейшее повышение температуры приводит к переходу из высокоэластического в вязкотекучее при 211°C. Для СБМ-2 температура размягчения и фазовые переходы из одного состояния в другое происходит при относительно высоких значениях температуры. Если обратить внимание на кривую 3.2 можно заметить, что термомеханическая кривая СБМ-2 имеет такую же закономерность в изменении термической деформации, что и СБМ-1. Разница проявляется в том, что температура размягчения СБМ-2 протекает при температуре 118°C. Причем, переход из стеклообразного состояния в высокоэластическое протекает при 156°C, а из высокоэластического в вязкотекучее состояние фиксируется при 215°C. Это вполне объяснимо, так как с учетом исходного соотношения мономеров в смеси в сравнении с ПМАК содержание полистирольной фракции в сополимере выше. Сопоставляя

кривые на рис.3.1 и 3.2 можно установить, что термодформационные кривые изменяются примерно по такой же закономерности, что и АБС пластик (рис.3.3). Для АБС пластика температура размягчения составляет 108°C , а переход из стеклообразного состояния в высокоэластическое протекает при 154°C . Дальнейшее повышение температуры приводит при 208°C к фазовому переходу из высокоэластического в вязкотекучее состояние. Аналогичность в закономерности изменения термомеханических кривых позволяет утверждать о том, что сополимеры СБМ характеризуются примерно идентичными технологическими свойствами. Последнее обстоятельство позволяет утверждать о том, что разработанные материалы могут перерабатываться методом литья под давлением примерно по технологическим параметрам характерным для АБС-пластика.

Известно, что АБС-пластики обладают уникальной способностью смешиваться с другими полярными полимерами с образованием композиционных полимерных смесей с высокими физико-механическими свойствами [11-14]. Одним из таких полимеров является пластифицированный поливинилхлорид (ПВХ). При этом, введение АБС-пластика в количестве 5-10%масс. предусматривала возможность упрочнения полимерной матрицы и улучшала реологические характеристики композиционного материала[15-17].

В этой связи представлялось интересным аналогичным образом использовать возможность модификации структуры и свойств ПВХ с помощью СБМ-1. В этом отношении метод термомеханических исследований является одним из классических методов оценки роли модификатора в изменении температурных переходов из одного физического состояния в другое. С этой целью на рис.4 приводятся результаты исследования влияния концентрации СБМ-1 на закономерность изменения термомеханических кривых композиций на основе ПВХ. Из сопоставительного анализа кривых на рис.4 можно заметить, что закономерность изменения термомеханических кривых позволяет утверждать о совместимости смешиваемых компонентов. На представленных термодформационных кривых отчетливо проявляются температурные переходы из одного физического состояния в другое. Так, для пластифицированного ПВХ температура размягчения проявляется при 78°C , в то время как у модифицированных образцов ПВХ с ростом содержания СБМ-1 значение этого показателя изменяется соответственно от 82 до 86°C .

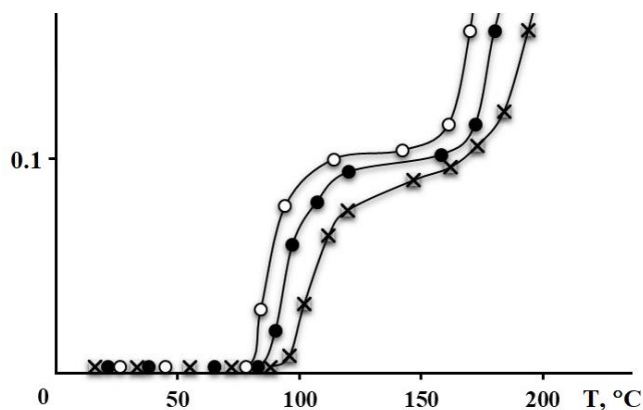


Рис.4. Термомеханические кривые зависимости деформации от температуры для образцов: 1- ПВХ; 2- ПВХ+5.0%масс.СБМ-1; 3- ПВХ+10%масс.СБМ-1.

Если для ПВХ переход из стеклообразного состояния в высокоэластическое протекает при 102°C, то вязкотекучее состояние начинается при 154°C. Для модифицированных композиций ПВХ с 5.0 и 10% масс. содержанием СБМ-1, переход из стеклообразного в высокоэластическое состояния начинается, соответственно, при температуре 104 и 118°C. В то же время, переход из высокоэластического в вязкотекучее состояние проявляется соответственно при температуре 162 и 170°C. Таким образом, становится очевидным, что с увеличением содержания СБМ-1 в составе композиции ПВХ наблюдается некоторое повышение температурных переходов.

Для того, чтобы получить довольно емкое представление о тройном сополимере представлялось интересным, по данным ступенчатой дилатометрии изучить закономерность изменения удельного объема от температуры. Результаты исследования дилатометрических свойств в интервале температуры 20-250°C приведены на рис.5. На этом рисунке представлены дилатометрические кривые двух образцов СБМ-1 и СБМ-2, синтезированных при различных температурах. Анализируя кривые на этом рисунке можно заметить, что закономерность изменения дилатометрических кривых примерно одинакова. При этом, характер кристаллизации тройных сополимеров существенно отличается от дилатометрических кривых кристаллических полиолефинов. Отличие проявляется в том, что в результате ступенчатого охлаждения СБМ в температурной области от 250°C до 160-165°C происходит закономерное снижение величины удельного объема. Однако, все неожиданные изменения в дилатометрических кривых проявлялись в

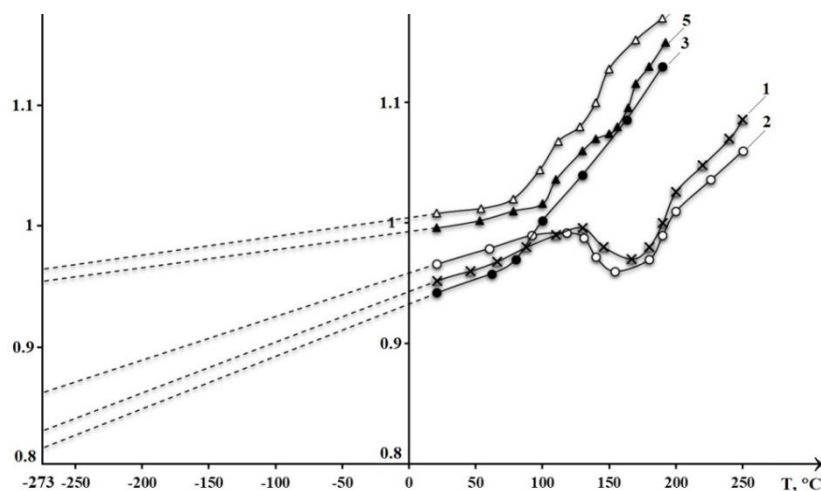


Рис.5. Зависимость удельного объема от температуры для различных полимеров и их смесей: 1- СБМ-2; 2- СБМ-2; 3- ПВХ+5.0%масс.СБМ-1; 4- ПВХ+10%масс.СБМ-1; 5- пластифицированный ПВХ.

температурной области 120-155°C. Резкое возрастание удельного объема или снижение плотности СБМ можно было связать с тем, что полиметакриловая кислота и полистирол не имеют температуры плавления, а характеризуются температурой стеклования. Есть основание полагать, что в процессе охлаждения образцов, содержащего макромолекулы полистирола и метакриловой кислоты, переход в стеклообразное состояние сопровождается разуплотнением полимерной матрицы, вследствие их недостаточной совместимости и возникающих в связи с этим затруднений с плотной упаковкой разнородных полимеров. Аналогичный эффект имел место при исследовании дилатометрических свойств АБС-пластиков [18].

На рис.5 приводятся также результаты исследования дилатометрических свойств композиций на основе ПВХ+СБМ. В задачу исследования входило выяснить влияние модификаторов, в данном случае, СБМ на закономерность изменения температурной зависимости удельного объема композиций ПВХ от температуры. Кривая-5.3 показывает зависимость удельного объема от температуры исходного ПВХ. Как видно из этого рисунка, на этой кривой не наблюдается фазовый переход первого рода, что характеризует ПВХ как аморфный полимер. Только при температуре 80°C на кривой 5.3 наблюдается излом. Несколько иная картина наблюдается при введении СБМ в состав ПВХ. Сопоставляя кривые 5.4 и 5.5 можно установить, что введение 5 и 10%масс. СБМ способствует заметному увеличению удельного объема. При этом, следует отметить, что введение 5.0%масс. СБМ приводит к увеличению удельного объема относительно ПВХ. Однако, при 10%масс. содержании СБМ в составе ПВХ наблюдается некоторое закономерное снижение величины этого показателя в рассматриваемом температурном интервале. Следует отметить, что в отличие от температурной зависимости удельного объема ПВХ полимерные смеси характеризуются волнообразным изменением величины этого показателя. Последнее обстоятельство позволяет утверждать об особом характере укладки макроцепей в сложной смеси разнополярных компонентов, содержащихся в составе полимерных смесей. Есть основание полагать, что полимерная матрица (ПВХ) создает благоприятные условия для проявления индивидуальных особенностей макроцепей СБМ в условиях ступенчатого охлаждения.

Для того, чтобы убедиться в приведенных доводах представлялось интересным проанализировать закономерность изменения свободного удельного объема от температуры для рассматриваемых образцов, результаты исследования которых представлены на рис.6. С этой целью нами были определены значения занятого удельного объема (V_3) путем экстраполяции дилатометрической кривой к абсолютной температуре (-273°C). Далее зная удельный объем при любой температуре (V_i) определили значения свободного удельного объема согласно уравнению: $V_c = V_i - V_3$.

Сопоставляя кривые на этом рисунке можно установить, что в процессе ступенчатого охлаждения СБМ наблюдается снижение значения свободного удельного объема. Из представленных кривых можно установить, что и в данном случае наблюдается появления своеобразного горба в области стеклования полистирольных звеньев и полиметакриловой кислоты. Такое резкое возрастание свободного удельного объема подтверждает наши доводы относительно возникновения стерических затруднений при упаковке разнородных полимерных материалов СБМ в матрице ПВХ.

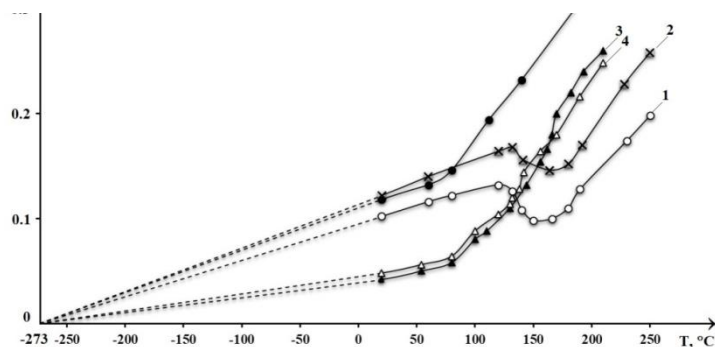


Рис.6. Зависимость свободного удельного объема от температуры для различных полимеров: 1- СБМ-2; 2- СБМ-1; 3- пластифицированный ПВХ; 4- ПВХ+10.0%масс.СБМ-1; 5- ПВХ+5.0%масс.СБМ-1.

Следует отметить, также, и то обстоятельство, что в смеси ПВХ+СБМ зависимость свободного удельного объема от температуры имеет некоторые отличительные особенности. Так, например, если для смеси ПВХ+10%масс.СБМ dilatометрические кривые свободного удельного объема практически совпадают с пластифицированным ПВХ, то у образцов ПВХ+5.0%масс. СБМ их значения становятся несколько выше. Не исключено, что в данном случае проявляется эффект концентрационного фактора, который как правило, проявляется в многокомпонентных полимерных системах. Выражается этот эффект в том, что при относительно низком содержании второго полимерного компонента его может быть недостаточно для достижения технологической совместимости по всему объему композиционного материала. Именно поэтому, при увеличении содержания СБМ от 5.0 до 10%масс. эффект совмещения и смешиваемости возрастает, что соответственно выражается в уменьшении разницы в свободном объеме полимерной матрицы (ПВХ) и модификатора (СБМ).

Таким образом, на основании вышеизложенного можно констатировать, что разработанный нами тройной сополимер СБМ является перспективным конструкционным материалом, который подобно его аналогу (АБС-пластикам) может найти свое практическое использование в различных областях промышленности. Высокие прочностные и теплофизические свойства в сочетании с удовлетворительными технологическими характеристиками позволяют утверждать о возможности получения на их основе изделий методами литья под давлением, прессования и вакуум-пневмоформования. Каждый синтезированный новый тип полимера или композиций на его основе это еще одна перспективная возможность в расширении набора высокопрочных и технологичных конструкционных материалов, предназначенных для целенаправленного их практического использования в экстремальных условиях эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Берлин А.А., Вольфсон С.А., Ошман В.Г. Принципы создания композиционных материалов. М.: Химия, 1990. 240 с.
2. Абрамушкина О.И., Узурина М.И., Суриков П.В., Ушакова О.Б. Исследование реологического поведения марок АБС-пластика для производства филаментов для 3D печати методом послойного наплавления. //Пластические массы, №5-6, 2021. С.29-35.
3. Калинин Э.Л., Саковцева М.Б. Свойства и переработка термопластов. © Л.: Химия, 1983 © 288 с.
4. Кахраманов Н.Т., Гаджиева Р.Ш., Гулиев А.М. Проблемы и решения технологической совместимости полимерных смесей на основе полиамида, полиуретана и АБС-сополимера. // Азербайдж. химич. журн. 2013, №4, с.80-86.
5. Pritish Shubham, Arnab Sikidar and Teg Chand. The Influence of Layer Thickness on Mechanical Properties of the 3D Printed ABS Polymer by Fused Deposition Modeling. Key Engineering Materials, 706, August, 2016, P. 63–67.
6. Коваленко Р.В. Современные полимерные материалы и технологии 3D печати. //Вестник технологического университета. 2015, т.18, в.1, с.263-266.
7. Кахраманлы Ю.Н. Несовместимые полимерные смеси и композиционные материалы на их основе. Баку: «ЭЛМ», 2013. 152с.

8. Кахраманов Н.Т., Гусейнова З.Н., Арзуманова Н.Б., Мамедли У.М. Физико-механические свойства модифицированных полиматричных полимерных композиций. // Пластические массы, 2018, №1-2, с.12-15.
9. Полимерные композиционные материалы. Свойства. Структура. Технологии. /под ред. А.А. Берлина.. СПб.: Профессия, 2009. 560 с.
10. Huseynova Z.N., Kakhramanov N.T., Osipchik V.S., Kurbanova R.V. Technological characteristics of injection molding of dynamic elastoplasts based on thermoplastic polyolefins and butyl rubber.// Inorganic Materials: Applied Research, 2019, vol.10, No 5, p.1239- 1244.
11. Matseevich A., Matseevich T., Askadskii A. Study of the abrasion resistance of woodpolymer composites and mixtures of ABSplastic with polyvinyl chloride. /MATEC Web of Conferences 196, 04069 (2018). Theoretical Foundation of Civil Engineering.
12. Yingshuang Zhang, Shuaijun Chen, Hui Wang, Maozhi Luo. Separation of polyvinylchloride and acrylonitrile-butadiene-styrene combining advanced oxidation by S₂O₈²⁻/Fe²⁺ system and flotation.// Waste Management, 91(2019), 80-88.
13. Mihai Brebu, Thallada Bhaskar, Kazuya Murai, Akinori Muto. The individual and cumulative effect of brominated flame retardant and polyvinylchloride (PVC) on thermal degradation of acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) copolymer.// Chemosphere 56 (2004) 433-440.
14. Masato Saeki. Triboelectric Separation of Three-Component Plastic Mixture.// Particulate Science and Technology, 26: 494-506, 2008.
15. Yingchun Li, Lida Lv, Wensheng Wang, Jiaoxia Zhang, Jing Lin. Effects of chlorinated polyethylene and antimony trioxide on recycled polyvinyl chloride/acryl-butadiene-styrene blends: Flame retardancy and mechanical properties.// Polymer, 190 (2020) 122198.
16. Qinghong Kong, Yuwen Tang, Yuan Hu, Lei Song. Thermal stability and flame retardance properties of acrylonitrile-butadiene-styrene/polyvinyl chloride/ organophilic Fe-montmorillonite nanocomposites.// J Polym Res (2012) 19:9751 DOI 10.1007/s10965-011-9751-y.
17. Kann Y., Padwa A. PVC Modification with Biobased Poly(hydroxyalkanoates). // Journal of Vinyl & Additive Technology. – 2015. № 21. – P. 259-271.
18. Теплофизические и реологические характеристики полимеров. /Справочник. Под редакцией Ю.С. Липатова, 1977, Киев: «Наукова Думка», 244с.

UOT: 627. 886

SAMUR ABŞERON KANALININ (SAK) BAŞ DURULDUCUSUNUN İSTİSMARININ TƏDQIQI

C.Z.VƏLİYEV, N.S.MUSTAFAYEV

Bakı Mühəndislik Universiteti

cavaliyev@beu.edu.az, reliyev16@std.edu.az

XÜLASƏ

Məqalədə Samur Abşeron kanalının baş durulducusunun son yenidən qurulması və onun natur tədqiqatlarının nəticələri şərh olunmuşdur. Bundan başqa, baş durulducuda çaydan götürülən suyun duruldulması, eləcə də, kameralarda çökən lillərin hidravliki üsulla yuyulub təmizlənməsinin xüsusiyyətləri öyrənilmişdir.

Açar sözlər: durulducu, sərf, lillər, hidravliki yuma, yuyucu şlüz, kamera, suaşırın, kanal, çay, suburaxan

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОЛОВНОГО ОТСТОЙНИКА САМУР-АБШЕРОНСКОГО КАНАЛА РЕЗЮМЕ

В статье приводятся результаты реконструкции головного отстойника Самур-Абшеронского канала и его натурные исследование по изучению эффективности работы сооружения. При этом даются характеры осветления мутности наносов речной воды в отстойнике, а так же проводится процесс удаления наносных отложений из камеры гидравлической промывкой.

Ключевые слова: отстойник, расход воды, наносы, гидравлическая промывка, промывной шлюз, камера, водослив, канал, река, водовыпуск

SAMUR ABSHERON CHANNEL (SAC) MAIN RETENTION BASIN OPERATION RESEARCH

ABSTRACT

The article presents the results of the reconstruction of the head main retention basin of the Samur-Absheron Canal and its field investigations to study the efficiency of the structure. In addition, the properties of the clarification of the turbidity of sediments of river water in the sump is given, and the process of removing sediment from the chamber by hydraulic washing is also carried out.

Key words: retention basin, consumption, sediments, hydraulic washing, washing sluice, chamber, cistern, canal, river

Samur çayının asılı gətirmələrinin hamısı su ilə birlikdə SAK-na keçirilir. Ona görə də suyun duruldulması və lillərin tutulub çökdürülməsi məqsədilə SAK-ın başlanğıcında çox kameralı mühəndis tipli durulducu tikilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, SAK-ın durulducu-sunun tədqiqi ilə bağlı elmi-tədqiqat və layihələndirmə işləri prof. F.B.Bəşirovun [2...6] rəhbərliyi altında yerinə yetirilmişdir. Tikilib istismara verilən durulducunun kompanovkası sxemi şəkl.1-də verilir. Burada durulducu 8 kameralı layihələndirilmişdir ki, onların da hər birinin uzunluğu 264 m-dir. Ondan başqa, kameraların dibi uzunluqları boyu əks maillikli düzəldilmişdir, $i=0,007$ -dir.

Durulducunun kameralarının, hər birinin eni 12,90 m-dir. Kameraların aralıq divarları-nın üstünün yüksəkliyi 282,3 m qəbul olunub, kamerada suyun durulması zamanı axının səviyyə yüksəkliyi 282,3 m təşkil edir.

Kameraların çıxışında layihələndirilən suaşırının qaşının səviyyəsi 281,7 m-dir. Suyun durulmasında kameradakı axının səviyyəsindən aralıq divarın üstünə kimi olan hündürlüyü 0,4 m nəzərdə tutulmuşdur. Durulducu kameraların dib yüksəklikləri başlanğıcda 277,3 m, sonda isə 279,12 m hesablanmışdır. Bunlara əsasən SAK-ın suyunun durulması prosesində suyun

Suqəbuledicidən SAK-a götürülən su durulducuya yandan verilir. Burada kameraların durulducunun sugətirən kanalı ilə birləşmə bucağı 90° təşkil edir. Sugətirən kanalın suyu durulducu kameraları arasında avankamera ilə bölüşdürülür. Avankamera düzbucaqlı en kəsikli layihələnib, onun eni uzunluq boyu daralır. Avankameranın başlanğıcında dib yüksəkliyi 280,7 m, sonunda isə dib yüksəkliyindən 0,1 m çoxdur yəni 280,6 m-dir. Avankameranın uzunluğu 100,8 m-dir, burada suyun dərinliyi 2,0 m, suyun səviyyəsi isə onun yan divarlarının üstü yüksəkliyindən 0,4 m aşağıdır. Bundan başqa, avankameranın eni başlanğıcında 16,0 m, sonunda isə 5,0 m-dir.

Kameraların giriş astanalarının yüksəklikləri 280,8 m olub, avankameranın dib səviyyəsindən 0,1 m yuxarı düzəldilir. Kameraların girişində iki aşırımlı sipərli şlüzlər nəzərdə tutulub və onların hər birinin eni 5,40 m-dir. Giriş qapılarının arxasında kameraların başlanğıcında axan cisimləri tutmaq üçün kobud şəbəkə və onun arxasında iki sıra axın sakitləşdirici şəbəkə qoyulmuşdur. Avankamerada çökə bilən lillərin yuyulub təmizlənməsi, eləcə də buradakı izafi axını atmaq üçün onun sonunda eni və hündürlüyü 2,0 m olan şlüz nəzərdə tutulmuşdur.

İstismar praktikasının nəticələrinə əsasən Samur çayının yatağında məcra çöküntülərinin 30 %-nin diametri 60 mm-dən böyük fraksiyalardan ibarətdir. Məcra çöküntüləri tərkibində 60...30 mm-lik hissəciklər 15 %, 0,5 mm-dən kiçik hissəciklər 7 %, 0,5...30 mm irilikli fraksiyalar isə 48 %-dir. Samur çayının məcrasındakı dib gətirmələri diametri 1...9 mm olan hissəciklərdən yaranır, onlar ümumi gətirmələrin 75,9 %-ni təşkil edir. Burada 11,7 % iriliyi 9,0 mm-dən böyük olan fraksiyalardan və 12,4 %-i isə diametri 1 mm-dən kiçik hissəciklərdən ibarətdir.

Samurçay su qovşağının istismara başlamasının ilk dövrlərində onun yuxarı byefində iri fraksiyalı dib gətirmələrinin çökmə intensivliyi daha çox olmuşdur. Bu dövrdə SAK-ın baş durulducusunun girişində suyun lillilik tərkibi cədvəl 1-dəki məlumatlarla xarakterizə olunur. Həmin cədvəlin məlumatlarına əsasən su qovşağının ilk istismarı dövründə durulducunun başlanğıc lillilik fraksiyaları tərkibinin 81,2 %-i diametri 0,005...0,1 mm olan hissəciklərdən yaranmışdır.

Cədvəl 1.

Fraksiyaların diametri, mm	<0,005	0,005...0,01	0,01...0,05	0,05...0,1	>0,1
Hissəciklərin xüsusi tərkibi	0,15	0,328	0,384	0,10	0,038

Buna baxmayaraq, Samurçay su qovşağının uzun illər istismarı gedişində onun yuxarı byefi əsasən lillənmiş və hidroqovşağın yuxarı byefinin akkumulyasiya həcmi azalmış, eləcə də SAK-ın baş durulducusunda götürülən suyun lilliyinin tərkibindəki asılı gətirmələrin iri fraksiyaları çoxalmışdır. Bu hal üçün durulducunun girişindəki lillilik fraksiyaları tərkibi cədvəl 2-də verilmişdir. Cədvəldən göründüyü kimi, su qovşağının yuxarı byefinin əsaslı lillənməsindən sonra baş durulducunun girişindəki lilliyin tərkibindəki hissəciklərin diametri 0,5 mm-ə kimi artmışdır.

Cədvəl 2

Fraksiyaların diametri, mm	<0,01	0,01...0,05	0,05...0,1	0,1...0,25	0,25...0,5	>0,5
Hissəciklərin xüsusi tərkibi	0,70	0,05	0,064	0,136	0,04	0,01

Cədvəl 1-in məlumatları əsasında durulducunun başlanğıc lilliyinin fraksiyaları tərkibinin hesabat parametrləri təyin olunub. Lilliliyin tərkibindəki ən kiçik hissəciklərin hidravliki iriliyi 0,0017 mm/san, ən böyük hidravliki iriliyi isə 14,24 mm/san və həmin hissəciklərin orta hidravliki iriliyi 0,79 mm/san təşkil edir. Cədvəl 2-nin məlumatlarından durulducunun başlanğıcında suyun lilliliyi tərkibinin fraksiyalarının hesablanmış orta iriliyi 4,38 mm/san-dir.

Samur çayının bərk axını dağ süxurlarının dağılmasından və onun suyuğar hövzə sahəsi boyu qrunzun, eləcə də məcranın dibi və sahillərinin axınla deformasiyaya uğrayıb aşınması nəticəsində yaranır. Suqəbuledicinin normal iş rejimində Samur çayının dib gətirmələrinin durulducuya düşməsi ehtimalı çox azdır. Bununla bərabər, çayın asılı gətirmələri suqəbuledicidən götürülən su ilə SAK-ın baş durulducusuna daxil olurlar. Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, çayın bulanıqlığını təşkil edən fraksiyalar dağ süxurlarından yarandığından, onlar qeyri müəyyən həndəsi formalı və iti ucludurlar. Belə fraksiyalar kanalın və onun üzərindəki qurğuların beton səthlərinin dağılıb aşınmasını artırır, eyni zamanda suvarılan torpaqların strukturasının formalaşmasında faydalı olurlar. Ona görə də, SAK-ın suyunun duruldulması dərəcəsinin yüksəldilməsi, kanalın beton örtüyünün müdafiəsi, Ceyranbatan su anbarında akkumulyasiya edən həcmnin saxlanması və hazırda bu zonada istifadə olunan progressiv suvarma texnikasının normal istismarının təmin olunması baxımından faydalıdır.

Sugətirən kanal durulducu ilə yandan birləşir və burada avankameranın uzunluğunu boyu eni aşağıdakı düsturdan tapılır.

$$b_x = b_b \frac{Q_x}{Q_b + \text{Alg}(Q_x/Q_b)} \quad (1)$$

burada: b_x - avankameranın başlanğıcından x məsafəsində eni;

Q_b , – Q_x – avankameranın başlanğıcında və onun başlanğıcından x məsafəsində suyun sərtləri;

$A = 1,15 \varphi \cdot h \cdot \sin \beta \sqrt{2gz}$; φ - sakitləşdirici şəbəkənin milləri açıqlıqlarında sürət əmsalı, $\varphi = 0,95$;

β - bucaqdır, durulducunun sugətirən kanalla birləşmə bucağından asılıdır.

$$\beta = \arctg \frac{(0,5)b_n}{b_k(n-0,5)+n_0 \cdot t} \quad ; \quad (2)$$

Z - kameraların girişi arasında səviyyələrin düşməsi; b_k - kameranın eni;

$n_0 \cdot t$ - kameraların aralıq divarlarının sayı və onların enidir.

b_n - avankameranın başlanğıc enidir.

Durulducunun kameralarının girişində 2 sıra sakitləşdirici şəbəkə qoyulur, onlar $d = 83$ mm boru millərdən yığılır. Millərin arasındakı məsafə 0,15 m-dir. İki sıra şəbəkələrdə yaranan basqı itkisi əmsalı bu düsturla hesablanır

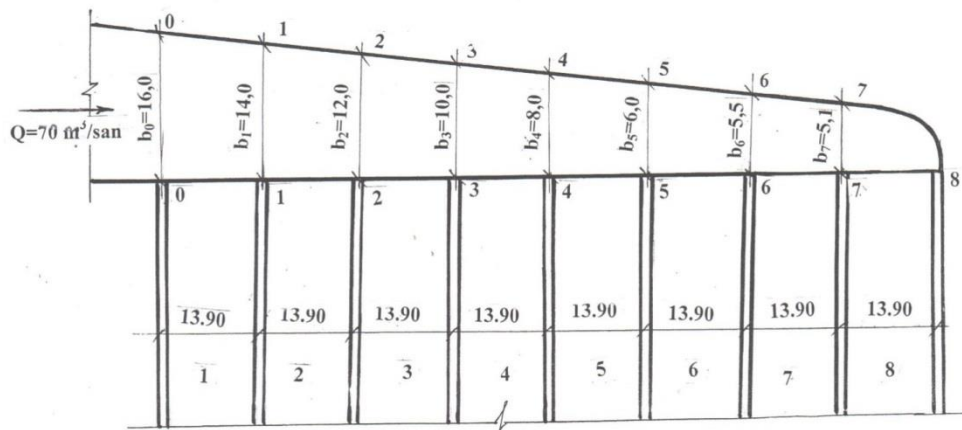
$$\xi_s = K\beta \left(\frac{s}{b'} \right)^{1,33} \sin \alpha \quad (3)$$

burada: β - millərin en kəsiyi formasından asılı əmsaldır; α -şəbəkənin üfiqi müstəviyə nisbətən yatım

bucağıdır, $\alpha=90^\circ$, K-şəbəkənin sayı, $K=2$ və $\xi=1,63$ tapılır, şəbəkədə yaranan basqı itkisi $h_{itki}=0,01$ olur.

Qeyd olunan ifadələrdən çoxkameralı durulducunun avankamerasının ölçüləri hesablanır və onun planı şək.2-də verilir.

Avankameranın hidravliki iş rejimi durulducunun 70, 56, və 36 m³/san su sərfələrində öyrənilib. Tədqiqatlarda suyun göstərilən rejimlərində axının dərinliyi I-I kəsiyində 2,32...1,85, VIII-VIII kəsiyində 1,8...1,60 m yaranmışdır. Sugətirən kanalın ən böyük su sərfində onun II-II və VII-VII kəsiyi arasında düşmə əyrisi kimi formalaşır, suyun 56...36 m³/san sərfələrində bu hala təsadüf olunmur, II-II kəsiyində axının sürəti 2,79 m/san yaranır, digər hallarda isə $F_r=0,36 < 1$ olur və axın sakitləşir.



Şək. 2. Avankameranın hesabat sxemi

Avankamera boyu axın boğulur, burada dərinlik 1,74...2,16 m müşahidə olunur. Durulducunun 6...8 kameralarında suyun sərfi onların hesabat sərfələrindən 9 % fərqlənir. Sugətirən kanalın sərfi azaldıqca suyun kameralar arasında bərabər paylanması yaxşılaşır. Avankameranın son kəsiklərində axının dib sürəti 1,96 m/san-dən 1,01 m/san-yə kimi azalır. Suyun 0,6 h və 0,8 h dərinliklərində axının sürətləri 1,33...1,35 m/san olur. Avankameranın sol küncündə ölü axın zonası yaranır, sürət 0,44...0,63 m/san olur və lillərin iri fraksiyalarının burada çökməsinə şərait yaranır.

Sugətirən kanalın 70 m³/san sərfində kameraların sərfi 9,14 m³/san, uyğun olaraq $Q_{im}=50$ m³/san olduqda $Q_k=7,08...7,55$ m³/san və $Q_{im}=36$ m³/san olduqda isə $Q_k=4,55...5,06$ m/san müşahidə olunur.

Kameraların 2,83; 4,85; 7,14; və 9,14 m³/san su sərfələrində onların xarakteristikaları analiz edilib araşdırılmışdır. Durulducunun giriş qapılarının qaldırılmasında avankameradan kameralara su onların sol tərəfindən daxil olur. Ona görə də, durulducunun kameralarının hamısının girişi astanasında suyun səthi deformasiyaya uğrayır, sol aralıq divarın yanında axının dərinliyi böyük olur, sağ aralıq divar boyu isə axın lallaşır. Göstərilən hidravliki rejimi yaxşılaşdırmaq, lillərin çökməsini intensivləşdirmək üçün kameraların girişində 2...3 sıra sakitləşdirici şəbəkə qoyulmuşdur. Bu halda kameralarda lillərin çökməsi üçün əlverişli şərait yaradılır. Kameraların ən böyük su sərfində 9,14 m³/san-də suyun sürəti kameralarda 0,11...0,21 m/san kimi müşahidə olunur.

Qeyd etmək lazımdır ki, 2006-cı ildən indiyədək durulducu fasiləsiz işləyir və burada Samur çayından götürülən su 33...35 % duruldu, eləcə də onun istənilən kamerası asanlıqla sistemdən ayrılaraq, hidravliki təmizlənmək üçün saxlanılıb təmizlənir və yenidən işə qoşulur.

Yuxarıdakılara əsasən məlum olmuşdur ki, Samurçay hidroqovşağındakı çoxkameralı durulducunun yenidən qurulması nəticəsində onun normal hidravliki rejimi təmin olunub və burada lillərin təmizlənməsindən yaranan səmərə yüksəkdir.

NƏTİCƏ

Yerinə yetirilən tədqiqatların araşdırılmasına əsasən aşağıdakıları qeyd etmək olar;

1.Samur çayının lilliliyi 140 kq/m^3 , asılı gətirmələrin sərfi isə 404 kq/san-yə çatır və asılı gətirmələrin diametri əsasən $0,5 \text{ mm}$ -dən kiçik hissəciklərdən yaranır.

2.Yerinə yetirilmiş çoxsaylı natur tədqiqatları, eləcə də uzun müddətli istismar praktikası göstərir ki, Samurçay hidroqovşağı su tələbatı qrafikinə uyğun çaydan suyun götürülməsini tam təmin edir.

3.Samur-Abşeron və Xanarx kanallarına verilən $Q=64 \text{ m}^3/\text{san}$ suyun götürülməsi, baş durulducuda 33...35 % duruldu və eləcə də durulducunun kameralarında çökən lill gətirmələrinin $Q=6,0 \text{ m}^3/\text{san}$ hesabat yuma suyu ilə hidravliki yuyularaq Samur çayına axıdılması tam təmin olunur və əlavə olaraq heç bir çətinlik yaratmır.

ƏDƏBİYYAT

1. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика./Г.В.Железняков, Ю.А.Ибадзаде, П.Л.Иванов и др.; Под общ. Ред. В.П.Недриги/ М.,Стройиздат, 1983, 543с.
2. Bəşirov F.B. Samur-Abşeron kanalının (SAK) baş durulducusunun yenidən qurulması tədqiqatları.Az.ETSPİ-nin elmi əsərlər məcmuəsi № 3. Bakı, 2006 s.15...24
3. Bəşirov F.B.Baş qurğu və durulducu üçün fiziki modelləşməyə dair müqavilə üzrə "Samur suqovşağının suqəbuledicisinin hidravliki rejiminin laboratoriya tədqiqatlarının aparılması və baş durulducunun konstruksiyası sxeminin işlənməsi və onun normal iş rejimini təmin edən tövsiyələrinin hazırlanması üçün eksperimental tədqiqatların aparılması" mövzusunda yerinə yetirilmiş elmi-tədqiqat işinin son hesabatı.Bakı 2004-cü il, "Hidroloq" MMC.
4. Bəşirov F.B., Qənbərov E.S., Hacıəliyev A.T. Samur-Abşeron kanalının baş sudurulducusu. Bakı, "Bəxtiyar-4"İKF mətbəəsi,2021,157s.
5. Qənbərov E.S.,Bəşirov F.B., Qənbərov E.S., Hacıəliyev A.T. Dağ və dağətəyi suqəbuledici qurğular. Bakı, "Bəxtiyar-4"İKF mətbəəsi,2021,284s.
6. Бащиров Ф.Б. Озерные отстойники водохозяйственных систем. М., Стройиздат,1987.

UDC 620.194.2

ФОРМУЛА, КОТОРАЯ ПОЗВОЛЯЕТ ОПРЕДЕЛИТЬ КОРРОЗИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

Хиджран А.МАММАДОВА

Институт Математики и Механики Национальной Академии Наук Азербайджана,

у. Б.Вахабзаде, 9. Г. Баку Азербайджан, AZ1141

creepimm@gmail.com

РЕЗЮМЕ

Выведена формула, которая позволяет определить время до коррозионного разрушения элементов конструкций. Для применения формулы требуется значения напряжений, которые возникают в элементах конструкций в начальный момент коррозионного процесса и экспериментальные данные о времени до коррозионного разрушения образцов при постоянной нагрузке.

Ключевые слова: коррозия, разрушение, напряжение.

FORMULA THAT ALLOWS TO DETERMINE CORROSION DESTRUCTION UNDER STRESS

ABSTRACT

The formula for definition of time before corrosion destruction of construction elements was developed. In order to apply the formula it is required to know the values corrosion process and experimental data on time before corrosion destruction of the specimen taken at the constant load.

Key words: corrosion, destruction, stress

GƏRGİNLİK ALTINDA KORROZİYADAN DAĞILMANI TƏYİN EDƏN FORMUL

XÜLASƏ

Konstruksiya elementlərinin korroziya dağılmasına qədər olan zamanın təyini üçün formul çıxarılmışdır. Formulu tətbiq etmək üçün gərginliyin qiyməti tələb olunur, hansı ki, konstruksiya elementlərində başlanğıc momentdə korroziya prosesi baş verir və sabit yüklənmədə korroziyadan dağılma zamanının eksperiment nəticələrinin nümunələri istifadə olunur.

Açar sözlər: korroziya, dağılma, gərginlik

Введение

Известно, что коррозионное разрушение под напряжением называется нарушение сплошности материала при одновременном действии агрессивной среды и статического механического напряжения. Характеру и механизму действия напряжений в процессе коррозионного разрушения металлов посвящен ряд экспериментальных работ [1-3]. Установлено, что коррозионное разрушение вызывается растягивающими, изгибающими и скручивающими напряжениями. Проблема прогнозирования времени до разрушения является одним из основных вопросов в исследованиях коррозии материалов. Существующие в этой области формулы в основном носят эмпирический характер или же являются не пригодными для прогнозирования длительной коррозионной прочности тел со сложной геометрией. На основе концепции накопленных повреждений в [4] разработан экспериментально-теоретический метод определения времени и координаты коррозионного разрушения тел произвольной геометрии. Предлагаемый метод следует считать как простейшее исходное приближение к решению вопроса о длительной

коррозионной прочности. На основе предложенного в [4] метода выведем одну конкретную формулу для времени до коррозионного разрушения.

Постановка задачи

Примем следующие гипотезы: 1) процесс коррозионного разрушения под напряжением является непрерывным или приближенно непрерывным процессом; 2) процесс коррозионного разрушения под напряжением протекает при постоянной температуре, постоянной концентрации активных компонентов агрессивной среды и постоянной поверхности энергии (потенциала) элемента конструкции.

Пусть известны компоненты тензоров напряжений $\sigma_{ij}(0)(i, j = 1, 2, 3)$, которые возникают в элементе конструкции произвольной геометрии под действием заданных внешних факторов (сил, граничных перемещений и т.д.). Величины $\sigma_{ij}(0)$ могут быть определены например, как решения задачи теории упругости без влияния агрессивной среды. Введем эквивалентное напряжение σ_e , которое приводит пространственное напряженное состояние к одноосному напряжению растяжения. За σ_e , может быть принято, например σ_1 – наибольшее главное растягивающее напряжение или σ_e – инвариантная величина интенсивности напряжений: $\sigma_e = \left(\frac{3}{2} S_{ij} S_{ij} \right)^{1/2}$, где $S_{ij} = \sigma_{ij} - \sigma \delta_{ij}$, $\sigma = \sigma_{ij} \delta_{ij} / 3$, $\delta_{ij} = 1$ при $i = j$, $\delta_{ij} = 0$ при $i \neq j, i, j = 1, 2, 3$.

Используем концепцию накопленных повреждений [4]. Согласно [4], процесс коррозионного разрушения определим как процесс накопления определенного вида повреждений. При этом исключим из рассмотрения механизм образования и накопления этих видов повреждений. Будем считать, что нарушение сплошном и материала в результате коррозии (коррозионное разрушение под напряжением) происходит тогда, когда накопление коррозионных повреждений достигает определенного уровня.

Решение задачи

Пусть монотонно возрастающая по времени t неотрицательная функция $\eta(t)$ характеризует степень (глубину) коррозии, точное, степень накопленных коррозионных повреждений. Примем: $\eta(0) = 0$, $\eta(t_*) = 1$, где t_* – время коррозионного разрушения. При этом предположим что на скорость накопленных коррозионных повреждений $d\eta/dt$ в момент времени t имеют влияния степень коррозионности $\eta(t)$ и напряжение $\sigma_e(t)$ достигнутые ко времени t

$$\frac{d\eta(t)}{dt} = \Omega[\eta(t), \sigma_e(t)]. \quad (1)$$

Пусть функция Ω будет представим в виде: $\Omega = \psi(\eta)\varphi(\sigma_e)$. В этом случае уравнение (1) принимает вид:

$$\frac{d\eta(t)}{dt} = \psi(\eta(t))\varphi(\sigma_e(t)). \quad (2)$$

Интегрируя (2) при условии $\eta(0) = 0$ будем иметь:

$$\int_0^\eta \frac{d\eta}{\psi(\eta)} = \int_0^t \phi(\sigma_e(\tau)) d\tau.$$

Из этого соотношения при условии $\eta(t_*) = 1$ получим:

$$\int_0^{t_*} \phi(\sigma_e(\tau)) d\tau = 1. \quad (3)$$

Здесь

$$\phi = \frac{\varphi}{A}; \quad A = \int_0^1 \frac{d\eta}{\psi(\eta)}. \quad (4)$$

Функцию $\phi(\sigma_e)$ аппроксимируем в виде:

$$\phi(\sigma_e) = \frac{1}{B} \exp \left[\beta \left(\frac{\sigma_e}{\sigma_s} - 1 \right) \right], \quad (5)$$

где $B, \beta = \text{const}$, $\sigma_s = \text{const}$ – напряжение приведения, которое может быть выбрано из интервала изменения напряжения σ_e . С использованием формулы (5) соотношение (3) принимает вид:

$$\int_0^{t_*} \exp \left[\beta \left(\frac{\sigma_e(\tau)}{\sigma_s} - 1 \right) \right] d\tau = B. \quad (6)$$

Определим постоянные β и B . Воспользуемся результатами опытов на коррозионное разрушения при постоянных напряжениях: $\sigma_e = \sigma_k = \text{const}$, ($k = 1, 2, \dots, n$). Пусть время t_* при $\sigma_e = \sigma_k = \text{const}$, переходит к t_0 . В этом случае из соотношения (6) получим:

$$t_0 = B \exp \left[\beta \left(1 - \frac{\sigma_k}{\sigma_s} \right) \right]. \quad (7)$$

Используя результаты экспериментов на коррозионное разрушение при постоянных напряжениях, а также, один из методов математического приближения в соответствии с формулой (7) находим константы β и B . После определения β и B по формуле (6) может быть определено время t_* при условии, что закон изменения напряжения σ_e во времени t будет известен. Однако, из-за сложности коррозионного процесса определение зависимости $\sigma_e \sim t$ как решение математической задачи представляет существенные трудности. При неизвестном законе $\sigma_e = \sigma_e(t)$, для определения времени до коррозионного разрушения воспользуемся методом, предложенным в [4], где предусматривается представление функцию $\eta(t)$ в конкретном виде. Исходя из этого, функцию $\eta(t)$ представим следующей формулой:

$$\eta(t) = 1 - \exp \left[1 - \frac{\sigma_e(t)}{\sigma_0} \right]. \quad (8)$$

Здесь $\sigma_0 = \sigma_e(0)$. Считаем, что величина $\exp \left[1 - \sigma_e(t) / \sigma_0 \right]$ при $t = t_*$ становится малой величиной по сравнению с единицей.

Примем $\psi(\eta) = 1$, что может иметь место, например, в первом приближении. В этом случае из (4) получим: $A = 1$, $\phi = \varphi$. С использованием этого факта, учтем (5) и (8) в уравнении (2):

$$\frac{1}{\sigma_0} \exp \left(1 - \frac{\sigma_e}{\sigma_0} \right) \frac{d\sigma_e}{dt} = \frac{1}{B} \exp \left[\beta \left(\frac{\sigma_e}{\sigma_s} - 1 \right) \right].$$

Проинтегрируем это соотношение:

$$\frac{t_*}{B} = \frac{1}{\sigma_0} e^{1+\beta} \int_{\sigma_0}^{\sigma_b} \exp \left[- \left(\frac{1}{\sigma_0} + \frac{\beta}{\sigma_s} \right) \sigma_e \right] d\sigma_e, \quad (9)$$

где σ_b — напряжение, при котором происходит отрыв чистого металла. После вычисления интеграла, соотношение (9) преобразуется к виду:

$$t_* = \frac{B e^{1+\beta}}{1 + \beta \frac{\sigma_0}{\sigma_s}} \left[\exp \left[- \left(1 + \beta \frac{\sigma_0}{\sigma_s} \right) \right] - \exp \left[- D \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_s} \right)^{-1} \left(1 + \beta \frac{\sigma_0}{\sigma_s} \right) \right] \right], \quad (10)$$

где D — новая константа: $D = \sigma_b / \sigma_s$.

Для определения константы D можно использовать экспериментальные данные по коррозионному разрушению при постоянной нагрузке. В этом случае будет происходить увеличение напряжения во времени вследствие уменьшения рабочей площади исследуемого экспериментального образца.

Результаты обработки некоторых экспериментов

Была произведена обработка экспериментальных данных по коррозионному разрушению образцов из неотожженной латуни марки Л68 в аммиачной среде, которые приведены в [2]. Треугольные точки на рис.1 соответствуют результатам испытания при постоянной деформации. В этом случае с некоторым приближением можно считать напряжение постоянным. Учитывая эти данные и принимая $\sigma_s = 0,46 \text{ МПа}$ из формулы (7) находим: $B = 4,6$ час, $\beta = 0,25$. Круглые точки на рис.1 соответствуют данным испытания при постоянной нагрузке. Используя эти данные эксперимента и уже известные данные для σ_s, B, β в соответствии с формулой (1) находим единственно неизвестную константу D : $D = 2,96$. После определения неизвестных констант, по формуле (7) и (10) были

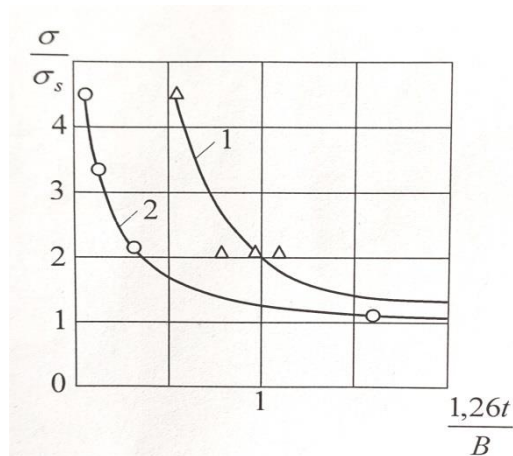


Рис.1. Экспериментальные точки и расчетные кривые коррозионной прочности неотожженной латуни марки Л68 в аммиачной среде. 1- при постоянном напряжении; 2- при постоянной нагрузке.

построены расчетные кривые (кривые 1 и 2 соответственно), которые оказались близкими к экспериментальным точкам.

Как отмечено выше, величина σ_0 которая входит в (10) определяется решениями задач теории упругости без учёта влияния агрессивной среды. При этом ясно, что она будет зависеть от координаты точек тела (x, y, z) : $\sigma_0 = \sigma_0(x, y, z)$. В соответствии с формулой (10) время t_* также будет зависеть от координаты (x, y, z) : $t_* = t_*(x, y, z)$. При этом координаты $(x_\alpha, y_\alpha, z_\alpha)$, которые определяет минимальное значение функцию $t_*(x, y, z)$, будут координатами точки, где впервые начинается коррозионное разрушение элемента конструкции.

Замечание.

Выше для аппроксимации функций $\phi(\sigma_e)$ и $\eta(t)$ были выбраны формулы (5) и (8). Однако, эти функции могут быть аппроксимированы также и другими функциями, например, степенным. В этих случаях значения времен t_0 и t_* мало будут отличаться от значения этих функций, вычисленных по формулам (7) и (10). Этот вывод следует из соображения о том, что полученные формулы для t_0 и t_* будут содержать константы, которые в конечном итоге должны быть определены данными соответствующих экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акользин П.А., Гуляев В.Н. Коррозионное растрескивание аустенитных сталей в теплоэнергетическом оборудовании. Москва - Ленинград, 1963, 270с.
2. Жуков А.М. Прочность и пластичность латуни в аммиачной среде. Изв. АН СССР, ОТН, 1954, Н4, с.67-72
3. Кеше Г. Коррозия металлов. Москва: "Металлургия" 1984, 400с.
4. Talybly L.Kh. On determining the time to corrosion fracture of metals. Transactions of National Academy Sciences of Azerbaijan, ser. of physical-technical and mathematical sciences, issue mathematical and mechanics. Baku "Elm" 2003, v.XXIII, N1, p.239-246

UOT: 626. 823.45

QUDİYALÇAY HİDROQOVŞAĞININ İSTİSMARININ TƏDQIQI

C.Z.VƏLİYEV, R.R.ƏLİYEV

Bakı Mühəndislik Universiteti

cavaliyev@beu.edu.az, nmustafayev5@std.edu.az

XÜLASƏ

Məqalədə Qudiyalçay hidroqovşağının çoxillik istismarı rejiminin gedişinin xüsusiyyətlərini araşdırmaq məqsədilə aparılmış natur tədqiqatlarının işləmələrinin nəticələri verilmişdir. Həmin araşdırmalar nəticəsində Qudiyalçay hidroqovşağının yuxarı və aşağı byeflərində çayın məcrasının deformasiyaları, hidroqovşağın konstruktiv elementlərinin istismarı prosesləri və digər məsələlər öyrənilmişdir.

Açar sözlər: hidroqovşaq, bənd, sipər, byef, suburaxan, məcra, deformasiya, durulducu

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ КУДИАЛЧАЙСКОГО ГИДРОУЗЛА

РЕЗЮМЕ

В работе приводятся результаты выполненных натурных исследований по выяснению особенности многолетних эксплуатационных режимов Кудиялчайского гидроузла. В результате исследований изучены русловые деформации реки в верхнем и нижнем бьефах Кудиялчайского гидроузла, эксплуатационные процессы конструктивных элементов и другие вопросы гидроузла.

Ключевые слова: гидроузел, плотина, затвор, бьеф, водовыпуск, русла, деформация, отстойник

OPERATION RESEARCH OF GUDIYALCHAY HYDROPOWER PLANT

ABSTRACT

In the article, the results of field investigations conducted in order to investigate the properties of the long-term operation regime of the Gudiyalchay hydropower plant are presented. As a result of those studies, the deformations of the river bed in the upstream and downstream of the Gudiyalchay hydropower plant, the processes of operation of the structural elements of the hydropower plant and other issues were studied.

Key words: hydropower plant, dam, gate, stream, watercourse, river bed, deformation, settler

Qudiyalçay əsas axınını may-iyul aylarında gətirir və bu dövrdə çayın axını onun ümumi axınının 48 %-ni təşkil edir. Intensiv suvarma dövrünün iyul-avqust aylarında Qudiyalçay illik axınının 20 %-ni axıdır. Göstərmək lazımdır ki, çayın qışda gətirdiyi axın çox az olub, illik axınının 3...4 %-dən çox olmur. Müşahidələrə əsasən Qudiyalçayın orta çoxillik lilliliyi $5,74 \text{ kq/m}^3$ -dən $33,6 \text{ kq/m}^3$ -a kimi dəyişir, onun orta illik asılı gətirmələri sərfi $32,2 \text{ kq/s}$ olarkən çayın illik gətirmələrinin miqdarı 122,2 min ton təşkil edir. Qudiyalçayın dib gətirmələrinin illik miqdarı asılı gətirmələrinin 20 %-i olub, 22,5 min tona bərabərdir. Hidroloji hesablamaların nəticələrinə əsasən Qudiyalçayın 0,1 % təminatlı su sərfi $525,0 \text{ m}^3/\text{san}$, 1% təminatlı su sərfi $357 \text{ m}^3/\text{san}$ və 5 % təminatlı su sərfi isə $240 \text{ m}^3/\text{san}$ olur.

Qudiyalçayın məcrasının uzununa dib mailliyi əsasən $i=0,003$ olub, onun bəzi məntəqələrində çayın məcrasının uzununa dib mailliyi $i=0,028$ -ə çatır. Hidroqovşağın müşahidə məlumatlarına əsasən çayın Küpçal kəndi yaxınlığında orta çoxillik su sərfi $6,81 \text{ m}^3/\text{san}$, maksimum daşqın axını sərfi $147 \text{ m}^3/\text{san}$, bir sıra illərdə orta illik su sərfi $5,66 \text{ m}^3/\text{san}$ və maksimum daşqın axını $29,08 \text{ m}^3/\text{san}$ (1984) və s. müşahidə olunur.

Bununla bərabər, Qudiyalçay regionda ən gursulu çay kimi xarakterizə olunur. Küpçal məntəqəsində Qudiyalçayın orta illik su sərfi $5,36 \text{ m}^3/\text{san}$ və maksimum su sərfi $59,0 \text{ m}^3/\text{san}$ (1985) olub. Ümumiyyətlə Qudiyalçayın ayrı-ayrı məntəqələrində onun axınının gursululuğunun davamiyyət müddəti 137...147 gün təşkil edir.

Qeyd etmək lazımdır ki, Qudiyalçay hidroqovşağının tədqiqi ilə bağlı elmi-tədqiqat işləri prof. F.B.Bəşirovun [5,6,7] rəhbərliyi altında yerinə yetirilmişdir. Qudiyalçayın üzərində tikilib uzun müddətdir ki, istismar olunan müxtəlif tipli suqəbuledicilərin iş rejimlərinin tədqiqatlarının nəticələrinə əsasən bu suqəbuledicilərin işi, bilavasitə çayın nəql etdiyi asılı və dib lil gətirmələrindən asılı əsaslı olaraq çətinləşir. Dağ və dağətəyi çaylardan tələb olunan su sərfinin götürülməsi və su tələbatı qrafikinə uyğun fasiləsiz olaraq sistemə verilməsi yalnız həmin çayların iri lil gətirmələrinə qarşı əsaslı mübarizə tədbirlərinin aparılması şəraitində mümkün olur.

Qudiyalçayın üzərində tikilən sonuncu hidroqovşaq 1973-cü ildə istifadəyə verilmişdir. Burada əsas məqsəd Samur – Abşeron kanalını (SAK) qidalandırmaq, eləcə də Quba rayonu suvarma sistemini suvarma suyu ilə təmin etməkdən ibarətdir. Suqəbuledici hidroqovşağın çaydan götürdüyü suyun maksimum hesabat sərfi $16,5 \text{ m}^3/\text{san}$ təşkil edir. Bunun $1,5 \text{ m}^3/\text{san}$ -si suqəbuledici qurğunun qumtutanının fasiləsiz yuyulmasına işlədilir. Suqəbuledicinin su sərfinin $10 \text{ m}^3/\text{san}$ -si SAK-ın əlavə qidalanmasına və $5 \text{ m}^3/\text{san}$ isə SAK-dan yuxarıdakı suvarma sistemə verilir.

Qudiyalçay hidroqovşağı əvvəllər tikilmiş oxşar hidroqovşaqlara nisbətən təkmilləşdirilib, onun sugötürən qurğusunun qarşısında çayın məcrasının nizamlanması üçün əyrixətli sugətirən məcradan ibarət element nəzərdə tutulub. Hidroqovşağın suaşırın bəndinin qaşında sugötürən üfüqi şəbəkə, qum-çınqiltutan və suaparan dəhlizi bəndin daxilində yerləşir. Qış sugötürəni kiçik su sərfini götürmək üçün tikilib.

Hidroqovşağın yuxarı byefində lazımı su səviyyəsinin nizamlanıb düzəldilməsində çaydan $15 \text{ m}^3/\text{san}$ hesabat su sərfini götürmək mümkündür. Sahilyanı axınıstiqamətləndirici divarlar hidroqovşağın yuxarı byefində axını toplu vəziyyətdə sıxıb sugətirən məcranı istiqamətləndirməyə xidmət edir. Sugətirən məcra daxilində fırlanma axını yaranır. Nəticədə dib gətirmələri yuma şlüzlərinə doğru sıxılır və onların suqəbulediciyə düşmə ehtimalı azalır.

Suaşırın bənd onun qaşındakı üfüqi şəbəkəli suqəbuledicidən qum-çınqiltutan və suaparan dəhlizdən düzəldilib. Sugötürən şəbəkəyə dib gətirmələrinin düşmə ehtimalını azaltmaq üçün suaşırın bəndin qaşısı çayın dibindən yuxarı qaldırılmışdır.

Suqəbuledici kameralarda qum-çınqiltutan boruda çınqıl və iri qum hissəcikləri ayrılıb aşağı byefə atılır. Su suqəbuledici kameradan və suaşırandan aşaraq suaparan dəhlizə tökülüb, örtülü suaparanla durulducuya axıdılır.

Göstərmək lazımdır ki, çayda suyun sərfi $5..6 \text{ m}^3/\text{san}$ olarkən, çaydan su qış sipərlərilə tökülür və onun təmizlənməsi bilavasitə durulducuda aparılır. Suaparan dəhlizin sipəri suyun bəndin qaşından götürülməsini kəsməyə xidmət edir. Belə hal çaydan daşqın axınının keçməsində təsadüf olunur.

Durulducu çaydan götürülən suyun qum dənəciklərindən təmizlənməsini təmin edir.

Daşqın axınlarında çaydan su şəbəkəli sugötürənlə götürülür. Bəzi hallarda çaydan suyun götürülməsi kəsilir.

Hidravliki iş rejimi baxımından suqəbuledici hidroqovşağın qeyd olunan planının forması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir və bu onun daxilində süni sürətdə yaradılan fırlanma-yivli axının çayın dib gətirmələrinin iri fraksiyalarına qarşı tələb olunan mübarizənin aparılması, eləcə də lillərin suqəbuledicinin frontuna buraxılmasının qarşısının alınması üçün istinad olunması ilə izah olunur.

Qudiyalçayın lil gətirmələrinin iri fraksiyaları sol sahilyanı hissə boyu akkumulyasiya olunur və sağ sahilyanı hissədə isə nisbətən axın az bulanıqlı olur. Bunun nəticəsi olaraq, adicəkilən hidroqovşağın qurğularının yerləşmə sxemində suqəbuledici qurğu sağ sahilyanı məcrə hissəsində yerləşdirilir, dib yuma şlüzləri isə sol sahilyanı hissədə düzəldilir. Beləliklə, hidroqovşağın normal hidravliki iş rejimində sugətirən məcrada suqəbuledici bəndin qarşısında çay suyunun tərkibində olan nisbətən kiçik fraksiyalar, dib yuma şlüzləri qarşısında isə çayın dib gətirmələrinin zərərli iri fraksiyaları toplanır.

Hidroqovşağın sugətirən məcrasındakı lilləri və yaxud burada toplanan məcrə çöküntüləri vaxtaşırı olaraq yuxarı byefdən dib yuma şlüzlərinin açılması ilə kənarlaşdırılır. Yuxarı byefdən lillərin hidravliki kənarlaşdırılmasına əsasən çayın daşqın axınlarında yerinə yetirilməsi və bunun payız-qış aylarında aparılması məqsədəuyğun sayılır.

Hidroqovşağın qurğularının yerləşmə sxemində suqəbuledici bənd məcranın sağ sahilyanı hissəsində düzəldilib və məcranın eninin əsas hissəsini təşkil edir. Suqəbuledici bəndin qasında dib suqəbuledici şəbəkə qoyulmuşdur. Suqəbuledici şəbəkənin uzunluğu 10 m olub onun əsas işlək hissəsinin eni 2,0 m-dir. Şəbəkə divarı en kəsikli millərdən düzəldilir. Millərin arasındakı açıqlıq 15 mm-dən kiçikdir. Digər tərəfdən, suqəbuledici bəndin daxilində suqəbuledici dəhliz yerləşdirilmişdir. Sugötürən şəbəkənin, eləcə də suqəbuledici dəhlizin konfiqurasiyası çoxsaylı eksperimental tədqiqatların nəticəsində seçilmişdir. Çaydan götürülən su suqəbuledici dəhlizə tangensial verilir. Bundan başqa, dəhlizin en kəsiyi xüsusi formalı ayrışdırıcı düzəldilir. Qeyd olunanlar nəticəsində dəhlizə tangensial daxil olan çay axını onun daxilində güclü eninə fırlanma hərəkəti yaradır. Belə daxili strukturaya malik olan axın dəhlizin daxilində iri fraksiyalı lillərin tutulması və onların dəhlizdən aşağı byefə kənarlaşdırılması üçün istifadə olunur.

Suqəbuledici bəndin dəhlizinin dibində liltutan xəndək konstruksiya olunmuşdur. Liltutan xəndəyə iri lil fraksiyaları ilə daxil olan su burada yivli axın yaradır. Axının belə hidravliki rejimi lil fraksiyalarının qaldırılmasını təmin edir. Onda dəhlizin liltutan xəndəyində suyun lil nəql etmə qabiliyyəti 2...2,5 dəfə artır. Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, liltutan xəndəkdə güclü fırlanma hərəkəti yarandıqda onun işi müəyyən qədər zəifləyir və bu yivli axının cərəyan xətlərinin addımlarının kiçik olması ilə izah olunur.

Aparılmış natur tədqiqatları göstərir ki, bir sıra hallarda liltutan xəndəyin başlanğıc hissəsində yuma axınının uzununa sürəti olmur, burada ölü fırlanma axını müşahidə olunur. Belə axın bəzən liltutan xəndəyin uzunluğunun 30 %-ni təşkil edir və dəhlizin lillənməsinə səbəb olur. Bunun nəticəsində çaydan suyun götürülməsinin tamam kəsilməsi hallarına təsadüf edilir.

Hidroqovşağın suqəbuledici bəndinin en kəsiyi şək.1-də göstərilir. Həmin şəkildə bəndin dib şəbəkəsindən suyun dəhlizə götürülməsi, dəhlizdə həmin suyun separasiya olunması və dib axınının zərərli fraksiyalarının liltutan xəndəklə tutulması, eləcə də, nisbətən durulmuş çay suyunun dəhlizdən suaparan kanala keçməsinin əyani sxemi göstərilmişdir.

Qudiyalçay hidroqovşağının dib suburaxan şlüzləri sol sahilyanı hissədə yerləşdirilmiş və onun astanasının yüksəkliyi çayın dibinin ən aşağı dib yüksəkliyində qoyulmuşdur.

Suqəbuledici bəndin qarşısında qoyulmuş dib şəbəkəsinin işinin təkmilləşdirilməsi, çayın mejen axınının tamam tutulub götürülməsi, eləcə də çaydan götürülən suyun daxilindəki daş və çınqıl gətirmələrinin dib şəbəkəsinin milləri arasında pərçimlənməsi ehtimalı və şəbəkənin millərinin arasındakı açıqlıqların zibillənməsinin qarşısını almaq məqsədilə dib şəbəkəsinin başlanğıcında, bəndin qasında şəkl.1-də göstərilən yarım silindrik səthlər düzəldilmişdir.

Beləliklə, dib şəbəkəsinə götürülən su axını ilk növbədə yarım silindrik səthdən diyirlənib novlara tökülərək aşağı byefə ötürülür (şəkl.1). Yarım silindrik səthlər çayın mejen axınlarında istənilən səmərəliliyi vermir. Bu mejen axınının tutulmasına imkanın yaradılmaması ilə izah olunur. Belə ki, yarım silindrik səthlərdən töküllən kiçik su şırnaqları dib şəbəkəsinin səhtinə çatmır, çaydan suyun götürülməsində iştirak etmir və aşağı byefə kənarlaşdırılır.

Qudiyalçaydan götürülən axının duruldukları və lillərin akkumulyasiya olunması məqsədilə iki kameralı durulducu tikilmişdir. Durulducunun kameraları xüsusi aralıq divarları ilə 2 sekiyaya bölünmüşdür. Hidroqovşağdan götürülən çayın suyu durulducunun kameraları arasında planda genişlənən xüsusi konstruksiyalı avankamera vasitəsilə bölüşdürülür. Sugətirən kanalın suyu durulducu kameralara frontal verilir. Ona görə də avankameranın eni axın boyu böyüyür və bunun nəticəsində suyun sürəti azalır. Yaranmış axın rejimində avankameranın intensiv lillənməsinə şərait yaranır.

Avankameranın eni onun uzunluğunu boyu bölüşdürücü divarla iki hissəyə bölünür. Konstruktiv həll sugətirən kanalın suyunun kameralar arasında bərabər paylanmasını və avankameranın lillənməsinə təmin etmir. Ona görə də, Qudiyalçay hidroqovşağının adiçəkilən durulducusu ayrı-ayrı vaxtlarda tamamilə istismardan ayrılır. Bundan başqa durulducunun kameraları çaydan götürülən suyun duruldukları üçün normal hidravliki rejimdə işləmirlər. Eyni zamanda durulducunun lillə çöküntülərindən hidravliki təmizlənməsi təmin olunmur. Suyun duruldukları üçün kameralar tələb olunan normal səviyyəyə kimi doldurulduqda qurğudan çay məcrasına doğru axının sızması güclənir.

Qudiyalçayda suyun sərfi $6,5 \text{ m}^3/\text{san}$ olarkən, hidroqovşağın yuxarı byefində axının sürəti $1,28 \text{ m/san}$ olmuşdur. Suyun göstərilən axın rejimində Qudiyalçay hidroqovşağının yuxarı byefində məcranın formalaşması, eləcə də boğulan byefdə səviyyə rejiminin vəziyyəti öyrənilib. Görüldüyü kimi, axının çayda su sərfinin az olması nəticəsində yuxarı byefdə kəskin sürət rejimi yaranmır. Yuxarı byefdə çayın axını sakitləşmiş rejimdə olur. Qudiyalçayın dib gətirmələri kiçik fraksiyalardan ibarət olub, onlar boğulan byefin başlanğıcında məcrada çökərək lillənmələr yaradırlar. Çayın dib gətirmələrinin intensiv çökməsindən məcranın dibini deformasiyaya uğrayır. Bununla bərabər həmin lillənmələr daxilində çay axınının azaraq hərəkəti lillərin sugətirən məcranın eni üzrə sağ sahilqoruyucu dambalardan sol sahilə doğru hərəkət etməsinə səbəb olurlar.

Yuxarı byefdə boğulan axının səviyyəsinin qalxmasında suyun sakit səviyyə rejimi yaranır və yarım silindrik səthlərin arasından suqəbulediciyə daxil olan suyun şəbəkənin üzərinə səlis keçməsinə şərait yaranır. Yarım silindrik müstəvilərdən ibarət konstruktiv elementlər suyun yuxarı byefdən sugötürən şəbəkənin səthinə keçməsinə pisləşdirir. Çayda mejen axınının şəbəkəli suqəbulediciyə düşməsi azalır.

Natur tədqiqatlarının aparılması dövründə hidroqovşağın aşağı byefində plan və dərinlik deformasiyaları müşahidə olunmur. Yuma şlüzlərinin aşağı byefində dib gətirmələrinin yuyulması və axının sol sahilyanı məcra hissəsinə sıxılması baş verir. Suyun lilliliyi burada 22 kq/m^3 ölçülmüşdür və bunun əsas səbəbi hidroqovşağın yuxarı byefinin lil çöküntülərinin yuyulması ilə izah olunur.

NƏTİCƏ

Yerinə yetirilmiş natur tədqiqatlarının nəticələrinə əsasən aşağıdakıları göstərmək olar:

1.Uzun müddətli fasiləsiz istismar prosesində Qudiyalçay hidroqovşağının yuxarı və aşağı byeflərində kəskin məcra deformasiyaları baş vermiş və hidroqovşağın bir sıra elementləri, o cümlədən bəndin qasında yerləşdirilmiş sugötürən şəbəkə, suqəbuledici bəndin daxilində düzəldilmiş suaparan dəhliz, dərinlik suburaxan şlüz, durulducu və onun yuma qurğusu, ayrı-ayrı qurğuların panur, sudöyən və risberma hissələri zədələnmişdir.

2.Qudiyalçayın müxtəlif hidroloji rejimlərində adıçəkilən suqəbuledici çaydan 15 m^3 \san hesabat su sərfinin götürülməsini, eləcə də SAK-ın əlavə qidalanmasını və ətraf əkin sahələrinin suvarma suyu ilə təmin edir.

3.Hazırda qeyd olunan hidroqovşağın aşağı və yuxarı byefləri lil gətirmələrindən tamam təmizlənmiş, onun axın istiqamətləndirici sahilyanı dambaları, sugötürən şəbəkənin milləri və onun qarşısında qoyulmuş yarımşilindrik səthlər, suqəbuledici bəndin daxilindəki dəhliz, liltutan xəndək, yuma və dib suburaxan şlüzlərlə təmir olunub yenidən qurulmuşdur və onlar normal hidravliki rejimdə istismar olunurlar.



Şəkil 1. Qudiyalçay hidroqovşağının görünüşü

ƏDƏBİYYAT

1. Рустамов С.Г., Кашкай Р.М. Водный баланс Азербайджанской ССР, Баку, 1978.
2. Алтуниин С.Т. и Бузунов И.А. Вопросы формирования и расчета русел рек у гидроузлов, ТР-ИС. АНАз. УзССР, вып. VII, Ташкент, 1955.
3. Артаманов К.Ф. Регулировочные сооружения при водозаборе на реках в предгорных районах. Фрунзе, 1963.
4. Жулаев Р.Ж. Пути совершенствования водозаборного сооружения с донной галереей, Изв.А.Н КазССР, вип 1, 1957
5. Баширов Ф.Б. Водозаборные сооружения на горных реках. В кн, Ибад-заде Ю.А. Гидравлика горных рек. М.,Стройиздат, 1986, с.62...100
6. Баширов Ф.Б. Озерные отстойники водохозяйственных систем, Москва, 1987.
7. Bəşirov F.B. Respublikanın şimal çaylarında (Vəlvələçay, Qudialçay, Qusarçay və s.)məcrə proseslərinin tədqiqi və onların üzərindəki hidrotexniki qurğuların dayanıqlılıqlarını təmin edən elmi-mühəndisi tədbirlərin işlənilib hazırlanması.AzETSPİ-nin arxivi, Bakı, 2015

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

1. "The Baku Engineering University Mechanical and Industrial engineering" accepts original unpublished articles and reviews in the research field of the author.
2. Articles are accepted in English.
3. File format should be compatible with **Microsoft Word** and must be sent to the electronic mail (journal@beu.edu.az) of the Journal. The submitted article should follow the following format:
 - Article title, author's name and surname
 - The name of workplace
 - Mail address
 - Abstract and key words
4. The title of the article should be in each of the three languages of the abstract and should be centred on the page and in bold capitals before each summary.
5. **The abstract** should be written in **9 point** type size, between **100** and **150** words. The abstract should be written in the language of the text and in two more languages given above. The abstracts of the article written in each of the three languages should correspond to one another. The keywords should be written in two more languages besides the language of the article and should be at least three words.
6. **.UDC** and **PACS** index should be used in the article.
7. The article must consist of the followings:
 - Introduction
 - Research method and research
 - Discussion of research method and its results
 - In case the reference is in Russian it must be given in the Latin alphabet with the original language shown in brackets.
8. **Figures, pictures, graphics and tables** must be of publishing quality and inside the text. Figures, pictures and graphics should be captioned underneath, tables should be captioned above.
9. **References** should be given in square brackets in the text and listed according to the order inside the text at the end of the article. In order to cite the same reference twice or more, the appropriate pages should be given while keeping the numerical order. For example: [7, p.15].

Information about each of the given references should be full, clear and accurate. The bibliographic description of the reference should be cited according to its type (monograph, textbook, scientific research paper and etc.) While citing to scientific research articles, materials of symposiums, conferences and other popular scientific events, the name of the article, lecture or paper should be given.

Samples:

- a) **Article:** Demukhamedova S.D., Aliyeva İ.N., Godjaye N.M.. *Spatial and electronic structure of monomer and dimeric conapeetes of carnosine with zinc*, Journal of structural Chemistry, Vol.51, No.5, p.824-832, 2010
 - b) **Book:** Christie John Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles*. Fourth Edition, Prentice Hall, p.386-398, 2002
 - c) **Conference paper:** Sadychov F.S., Aydın C., Ahmedov A.İ.. *Application of Information – Communication Technologies in Science and education. II International Conference. "Higher Twist Effects In Photon- Proton Collisions"*, Baki, 01-03 Noyabr, 2007, ss 384-391
- References should be in 9-point type size.
10. The margins sizes of the page: - Top 2.8 cm. bottom 2.8 cm. left 2.5 cm, right 2.5 cm. The article main text should be written in Palatino Linotype 11 point type size single-spaced. Paragraph spacing should be 6 point.
 11. The maximum number of pages for an article should not exceed 15 pages
 12. The decision to publish a given article is made through the following procedures:
 - The article is sent to at least to experts.
 - The article is sent back to the author to make amendments upon the recommendations of referees.
 - After author makes amendments upon the recommendations of referees the article can be sent for the publication by the Editorial Board of the journal.

YAZI VƏ NƏŞR QAYDALARI

1. "Journal of Baku Engineering University- Mexanika və sənaye mühəndisliyi" - əvvəllər nəşr olunmamış orijinal əsərləri və müəllifin tədqiqat sahəsi üzrə yazılmış icmal məqalələri qəbul edir.
2. Məqalələr İngilis dilində qəbul edilir.
3. Yazılar **Microsoft Word** yazı proqramında, (**journal@beu.edu.az**) ünvanına göndərməlidir. Göndərilən məqalələrdə aşağıdakılara nəzərə alınmalıdır:
 - Məqalənin başlığı, müəllifin adı, soyadı,
 - İş yeri,
 - Elektron ünvanı,
 - Xülasə və açar sözlər.
4. **Məqalədə başlıq hər xülasədən əvvəl** ortada, qara və böyük hərflə xülasələrin yazıldığı hər üç dildə olmalıdır.
5. **Xülasə** 100-150 söz aralığında olmaqla, 9 punto yazı tipi böyüklüyündə, məqalənin yazıldığı dildə və bundan əlavə yuxarıda göstərilən iki dildə olmalıdır. Məqalənin hər üç dildə yazılmış xülasəsi bir-birinin eyni olmalıdır. Açar sözlər uyğun xülasələrin sonunda onun yazıldığı dildə verilməklə ən azı üç sözdən ibarət olmalıdır.
6. Məqalədə UOT və PACS kodları göstərməlidir.
7. Məqalə aşağıdakılardan ibarət olmalıdır:
 - Giriş,
 - Tədqiqat metodu
 - Tədqiqat işinin müzakirəsi və onun nəticələri,
 - İstinad ədəbiyyatı rus dilində olduğu halda orijinal dili mötərzə içərisində göstərməklə yalnız Latın əlifbası ilə verilməlidir.
8. **Şəkil, rəsm, grafik və cədvəllər** çapda düzgün, aydın çıxacaq vəziyyətdə və mətn içərisində olmalıdır. Şəkil, rəsm və grafiklərin yazıları onların altında yazılmalıdır. Cədvəllərdə başlıq cədvəlin üstündə yazılmalıdır.
9. **Mənbələr** mətn içərisində kvadrat mötərizə daxilində göstərməklə məqalənin sonunda mətn daxilindəki sıra ilə düzülməlidir. Eyni mənbəyə iki və daha çox istinad edildikdə əvvəlki sıra sayı saxlanmaqla müvafiq səhifələr göstərməlidir. Məsələn: [7,səh.15].

Ədəbiyyat siyahısında verilən hər bir istinad haqqında məlumat tam və dəqiq olmalıdır. İstinad olunan mənbənin biblioqrafik təsviri onun növündən (monoqrafiya, dərslik, elmi məqalə və s.) asılı olaraq verilməlidir. Elmi məqalələrə, simpozium, konfrans, və digər nüfuzlu elmi tədbirlərin materiallarına və ya tezislərinə istinad edərkən məqalənin, məruzənin və ya tezisnin adı göstərməlidir.

Nümunələr:

- a) **Məqalə:** Demukhamedova S.D., Aliyeva İ.N., Godjayev N.M.. *Spatial and electronic structure of monomeric and dimeric complexes of carnosine with zinc*, Journal of structural Chemistry, Vol.51, No.5, p.824-832, 2010
- b) **Kitab:** Christie ohn Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles*. Fourth Edition, Prentice Hall, 2002
- c) **Konfrans:** Sadychov F.S., Aydın C., Ahmedov A.İ.. Appligation of Information-Communication Technologies in Science and education. II International Conference. "Higher Twist Effects In Photon- Proton Collisions", Bakı, 01-03 Noyabr, 2007, ss 384-391

Mənbələr 9 punto yazı tipi böyüklüyündə olmalıdır.

10. **Səhifə ölçüləri:** üstədən 2.8 sm, altından 2.8 sm, soldan 2.5 sm və sağdan 2.5 sm olmalıdır. Mətn 11 punto yazı tipi böyüklüyündə, **Palatino Linotype** yazı tipi ilə və tək simvol aralığında yazılmalıdır. Paraqraflar arasında 6 punto yazı tipi aralığında məsafə olmalıdır.
11. Orijinal tədqiqat əsərlərinin tam mətni bir qayda olaraq 15 səhifədən artıq olmamalıdır.
12. Məqalənin nəşrə təqdimi aşağıdakı qaydada aparılır:
 - Hər məqalə ən azı iki ekspertə göndərilir.
 - Ekspertlərin tövsiyələrini nəzərə almaq üçün məqalə müəllifə göndərilir.
 - Məqalə, ekspertlərin tənqidi qeydləri müəllif tərəfindən nəzərə alındıqdan sonra Jurnalın Redaksiya Heyəti tərəfindən çapa təqdim oluna bilər.

YAZIM KURALLARI

1. “Journal of Baku Engineering University- Makine ve endüstri mühendisliği” önceler yayımlanmamış orijinal çalışmaları ve yazarın kendi araştırma alanın-da yazılmış derleme makaleleri kabul etmektedir.
2. Makaleler İngilizce kabul edilir.
3. Makaleler Microsoft Word yazı programında, (**journal@beu.edu.az**) adresine gönderilmelidir. Gönderilen makalelerde şunlar dikkate alınmalıdır:
 - Makalenin başlığı, yazarın adı, soyadı,
 - İş yeri,
 - E-posta adresi,
 - Özet ve anahtar kelimeler.
4. **Özet** 100-150 kelime arasında olup 9 font büyüklüğünde, makalenin yazıldığı dilde ve yukarıda belirtilen iki dilde olmalıdır. Makalenin her üç dilde yazılmış özeti birbirinin aynı olmalıdır. Anahtar kelimeler uygun özeti sonunda onun yazıldığı dilde verilmekle en az üç sözcükten oluşmalıdır.
5. Makalede UOT ve PACS tipli kodlar gösterilmelidir.
6. Makale şunlardan oluşmalıdır:
 - Giriş,
 - Araştırma yöntemi
 - Araştırma
 - Tartışma ve sonuçlar,
 - İstinat Edebiyatı Rusça olduğu halde orijinal dili parantez içerisinde göstermekle yalnız Latin alfabesi ile verilmelidir.
7. **Şekil, Resim, Grafik ve Tablolar** baskıda düzgün çıkacak nitelikte ve metin içerisinde olmalıdır. Şekil, Resim ve grafiklerin yazıları onların alt kısmında yer almalıdır. Tablolarda ise başlık, tablonun üst kısmında bulunmalıdır.
8. **Kullanılan kaynaklar**, metin dâhilinde köşeli parantez içerisinde numaralandırılmalı, aynı sırayla metin sonunda gösterilmelidir. Aynı kaynaklara tekrar başvurulduğunda sıra muhafaza edilmelidir. Örneğin: [7,seh.15]. Referans verilen her bir kaynağın künyesi tam ve kesin olmalıdır. Referans gösterilen kaynağın türü de eserin türüne (monografi, derslik, ilmi makale vs.) uygun olarak verilmelidir. İlmî makalelere, sempozyum, ve konferanslara müracaat ederken makalenin, bildirinin veya bildiri özetlerinin adı da gösterilmelidir.

Örnekler:

- a) **Makale:** Demukhamedova S.D., Aliyeva İ.N., Godjayev N.M.. *Spatial and Electronic Structure of Monomeric and Dimeric Conapeetes of Carnosine Üith Zinc*, Journal of Structural Chemistry, Vol.51, No.5, p.824-832, 2010
- b) **Kitap:** Christie ohn Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles*. Fourth Edition, Prentice Hall, p.386-398, 2002
- c) **Kongre:** Sadychov F.S., Aydın C., Ahmedov A.İ. Appligation of Information-Communication Technologies in Science and education. II International Conference. “*Higher Twist Effects In Photon- Proton Collisions*”, Baki, 01-03 Noyabr, 2007, ss 384-391

Kaynakların büyüklüğü 9 punto olmalıdır.

9. **Sayfa ölçüleri;** üst: 2.8 cm, alt: 2.8 cm, sol: 2.5 cm, sağ: 2.5 cm şeklinde olmalıdır. Metin 11 punto büyüklükte **Palatino Linotype** fontu ile ve tek aralıkta yazılmalıdır. Paragraflar arasında 6 puntoluk yazı mesafesinde olmalıdır.
10. Orijinal araştırma eserlerinin tam metni 15 sayfadan fazla olmamalıdır.
11. Makaleler dergi editör kurulunun kararı ile yayımlanır. Editörler makaleyi düzeltme için yazara geri gönderebilir.
12. Makalenin yayına sunuşu aşağıdaki şekilde yapılır:
 - Her makale en az iki uzmana gönderilir.
 - Uzmanların tavsiyelerini dikkate almak için makale yazara gönderilir.
 - Makale, uzmanların eleştirel notları yazar tarafından dikkate alındıktan sonra Derginin Yayın Kurulu tarafından yayına sunulabilir.
13. Azerbaycan dışından gönderilen ve yayımlanacak olan makaleler için,(derginin kendilerine gönderilmesi zamanı posta karşılığı) 30 ABD Doları veya karşılığı TL, T.C. Ziraat Bankası/Üsküdar-İstanbul 0403 0050 5917 No’lu hesaba yatırılmalı ve makbuzu üniversitemize faksılmalıdır.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. «Journal of Baku Engineering University» - Механические и промышленного строительства публикует оригинальные, научные статьи из области исследования автора и ранее не опубликованные.
2. Статьи принимаются на английском языке.
3. Рукописи должны быть набраны согласно программы **Microsoft Word** и отправлены на электронный адрес (**journal@beu.edu.az**). Отправляемые статьи должны учитывать следующие правила:
 - Название статьи, имя и фамилия авторов
 - Место работы
 - Электронный адрес
 - Аннотация и ключевые слова
4. **Заглавие статьи** пишется для каждой аннотации заглавными буквами, жирными буквами и располагается по центру. Заглавие и аннотации должны быть представлены на трех языках.
5. **Аннотация**, написанная на языке представленной статьи, должна содержать 100-150 слов, набранных шрифтом 9 punto. Кроме того, представляются аннотации на двух других выше указанных языках, перевод которых соответствует содержанию оригинала. Ключевые слова должны быть представлены после каждой аннотации на его языке и содержать не менее 3-х слов.
6. В статье должны быть указаны коды UOT и PACS.
7. Представленные статьи должны содержать:
 - Введение
 - Метод исследования
 - Обсуждение результатов исследования и выводов.
 - Если ссылаются на работу на русском языке, тогда оригинальный язык указывается в скобках, а ссылка дается только на латинском алфавите.
8. **Рисунки, картинки, графики и таблицы** должны быть четко выполнены и размещены внутри статьи. Подписи к рисункам размещаются под рисунком, картинкой или графиком. Название таблицы пишется над таблицей.
9. **Ссылки** на источники даются в тексте цифрой в квадратных скобках и располагаются в конце статьи в порядке цитирования в тексте. Если на один и тот же источник ссылаются два и более раз, необходимо указать соответствующую страницу, сохраняя порядковый номер цитирования. Например: [7, стр.15]. Библиографическое описание ссылаемой литературы должно быть проведено с учетом типа источника (монография, учебник, научная статья и др.). При ссылке на научную статью, материалы симпозиума, конференции или других значимых научных мероприятий должны быть указаны название статьи, доклада или тезиса.

Например:

- a) **Статья:** Demukhamedova S.D., Aliyeva I.N., Godjaye N.M. *Spatial and electronic structure of monomeric and dimeric complexes of carnosine with zinc*, Journal of Structural Chemistry, Vol.51, No.5, p.824-832, 2010
- b) **Книга:** Christie on Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles*. Fourth Edition, Prentice Hall, 2002
- c) **Конференция:** Sadychov F.S, Fydin C,Ahmedov A.I. Appligation of Information-Communication Nechnologies in Science and education. II International Conference. *"Higher Twist Effects In Photon-Proton Collision"*, Baki,01-03 Noyabr, 2007, ss.384-391

Список цитированной литературы набирается шрифтом 9 punto.

10. **Размеры страницы:** сверху 2.8 см, снизу 2.8 см, слева 2.5 и справа 2.5. Текст печатается шрифтом **Palatino Linotype**, размер шрифта 11 punto, интервал-одинарный. Параграфы должны быть разделены расстоянием, соответствующим интервалу 6 punto.
11. Полный объем оригинальной статьи, как правило, не должен превышать 15 страниц.
12. Представление статьи к печати производится в ниже указанном порядке:
 - Каждая статья посылается не менее двум экспертам.
 - Статья посылается автору для учета замечаний экспертов.
 - Статья, после того, как автор учел замечания экспертов, редакционной коллегией журнала может быть рекомендована к печати.