

UOT 621.372.822

İFRAT YÜKSƏK TEZLİK DİAPAZONLU DAİRƏVİ DALĞAÖTÜRƏN TELEKOMMUNİKASIYA QURĞUSUNUN MODELLEŞDİRİLMƏSİ

İslamov İ.C.

*Azərbaycan Texniki Universiteti
Az. 1073, Bakı, H.Cavid prospekti, 25
E-mail: icislamov@mail.ru*

Xülasə. *Məqalədə 9 QHs tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürən telekommunikasiya qurğusunun elektromaqnit sahəsinin hərəkət edən koordinat sistemində yeni riyazi modelləri işlənilib hazırlanmışdır. Qrup sürəti ilə hərəkət edən koordinatda müxtəlif tip modaların güc selinin sıxlığı təyin edilmiş, dairəvi dalğaötürənin elektromaqnit sahəsinin intensivliklərinin elementar oblastlara görə Z oxu boyunca paylanması göstərilmişdir.*

Аннотация. *В статье даны разработки новых математических моделей электромагнитного поля устройства круглого волновода телекоммуникации в движущейся системе координат, работающей на частоте 9 ГГц. Определена плотность силы мощности различных волновых мод в движущейся системе координат с групповой скоростью, показана распределение напряженности электромагнитного поля на элементарных участках круглого волновода.*

Abstract. *New mathematical models of the electromagnetic field of a device for a circular waveguide for telecommunications in a moving coordinate system operating at 9 GHz are developed. The power density of various wave modes in the moving coordinate system is determined from the group velocity, the distribution of the electromagnetic field strength at elementary sections of the circular waveguide is shown.*

Açar sözlər: *dairəvi dalğaötürən, elektromaqnit sahəsi, intensivlik, ifrat yüksək tezlik diapazonu*

Ключевые слова: *круглый волновод, электромагнитное поле, напряженность, сверхвысокочастотный диапазон*

Key words: *circular waveguide, electromagnetic field, tension, microwave range*

Giriş. İfrat yüksək tezlik diapazonu müxtəlif təyinatlı informasiyaları ötürmək üçün hazırda intensiv istifadə olunur. Bu diapazonda işləyən qurğulardan biri də dalğaötürən tipli telekommunikasiya qurğularıdır. Bu qurğuların özləri də müxtəlif konstruksiyalı və təyinatlı olurlar. Onlar telekommunikasiyada, televiziya texnikasında, radiolokasiyada, radionaviqasiyada, tibbi texnikada, radioidarətmədə, rabitə texnikasında, antena texnikasında, elm və texnikanın digər sahələrində geniş tətbiq olunur. İnformasiyanın ötürülməsi üçün istifadə olunan dalğaötürənlərdən ən geniş yayılanları ifrat yüksək tezlikli dairəvi dalğaötürənlərdir. Dairəvi dalğaötürənlərin bir sıra üstün cəhətləri vardır. Belə ki, onlar yüksək etibarlılığa, parametrlərinin stabilliyinə və istismar prosesində uzunömürlülyə malikdir. Eyni zamanda dairəvi dalğaötürənlər ətraf mühitdən tam izolə olunur, yəni informasiyanı belə dalğaötürənlərlə ötürən zaman elektromaqnit dalğalarının (radiodalğaların) xarici mühitə şüalanması demək olar ki, baş vermir. İfrat yüksək tezlikli dairəvi dalğaötürənlərin çox geniş tətbiq olunmasına baxmayaraq, belə ötürücü xətlərdə yayılan elektromaqnit proseslərini tam əks etdirən və təcrübi əhəmiyyət kəsb edən elmi işlər kifayət qədər deyildir. Bu sahədə olan məlum işlərdə elektromaqnit dalğalarının (radiodalğaların) yayıldığı mühit xətti kimi qəbul edilmişdir. Bu vaxta qədər belə dalğaötürənləri layihələndirən zaman elektromaqnit dalğalarının (radiodalğaların) yayıldığı mühit xətti kimi qəbul edilmişdir. Lakin real praktikada mühit özünü qeyri-xətti kimi aparır. Eyni zamanda belə dalğaötürənləri modelləşdirən zaman

mürəkkəb klassik riyazi aparatlardan istifadə edilmişdir ki, bunlar da hesablamaların xətasını artırır və onların yerinə yetirilməsini çətinləşdirir. Ona görə də mühitin qeyri-xəttiliyi nəzərə alınmaqla ifrat yüksək tezlikli dairəvi dalğaötürənlərin texniki, konstruktiv və istismar xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması məqsədilə bu qurğuların spesifik xüsusiyyətlərini özündə əks etdirən yeni riyazi modellərin işlənilməsinə və alqoritmləşdirilməsinə imkan verən modelləşdirmə üsullarının işlənilib hazırlanmasına son zamanlar böyük ehtiyac duyulur və bu məsələ çox təcrübi əhəmiyyətə malikdir.

Digər tərəfdən hazırda ifrat yüksək tezlik diapazonlu dairəvi dalğaötürənlərin istehsalatda geniş tətbiq olduğundan bu qurğuların konstruktiv, texniki və istismar parametrləri və xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması və daha optimal konstruktiv ölçülərə malik yeni qurğuların layihələndirilməsi həm elmi nöqtəyi-nəzərdən, həm də istehsal baxımından çox vacib və aktualdır.

Əsas hissə. Dairəvi dalğaötürəndə E-tip (TH) və H-tip (TE) dalğalarının ayrı-ayrılıqda mövcudluğu mümkündür. Qeyd etmək lazımdır ki, bu dalğaötürənlər ətraf mühitə enerji şüalandırmadan elektromaqnit dalğasının bir istiqamətdə ötürülməsini təmin edən xüsusi konstruktiv verici (ötürücü) xətlərdir. Verici xətlər iki qismə ayrılır: müntəzəm verici xətlər; qeyri-müntəzəm verici xətlər.

Müntəzəm verici xətlər elə xətlərdir ki, onların yayılma oxları istiqamətində elektromaqnit dalğasının xassəsi dəyişilməz qalır və ya dövrü qanunla dəyişir. Birinci halda verici xətlər uzununa-bircinsli, ikinci halda isə dövrü verici xətlər adlanır. Əgər elektromaqnit dalğasının enerjisi verici xəttin oxu boyunca dəyişirsə, həmişə verici xətlər uzununa qeyri-bircinsli və ya qeyri-müntəzəm verici xətt adlandırılır. Elektromaqnit enerjisinin kanallaşdırılan verici xətlər açıq və qapalı olur. Əgər verici xətdə elektromaqnit enerjisi eninə istiqamətdə qeyri-məhduddursa, ona açıq verici xətt deyilir. Qapalı verici xətdə isə elektromaqnit enerjisi yalnız qapalı metal örtük daxilində mövcud olur. Dairəvi dalğaötürən qapalı tipli verici xətdir.

Verici xətti əmələ gətirən materialdan asılı olaraq onlar metal, dielektrik və ya metal-dielektrik olurlar. Verici xətlərin xassələri onların eninə kəsiyinin əlaqəsindən ciddi asılıdır. Bu cəhətdən verici xətlər birəlaqəli və ya çoxəlaqəli olmaqla iki qismə ayrılır. Dairəvi dalğaötürən qapalı metal ikiəlaqəli verici xətt adlanır. Araşdırmalar göstərir ki, istənilən verici xətdə Maksvel tənliklərinin həlli elektrik və maqnit sahələrinin uzununa intensivlik vektorları üçün Helmhols tənliyinin həllindən ibarətdir.

Membrana tənliyi və ya ikiölçü Helmhols tənliyi isə aşağıdakı şəkildə yazılır [1-3]

$$\nabla_{\perp}^2 + k_c^2 \psi = 0, \quad (1)$$

burada $k_c^2 + k_z^2 = k^2$ olub verici xəttin xarakteristik tənliyi adlanır.

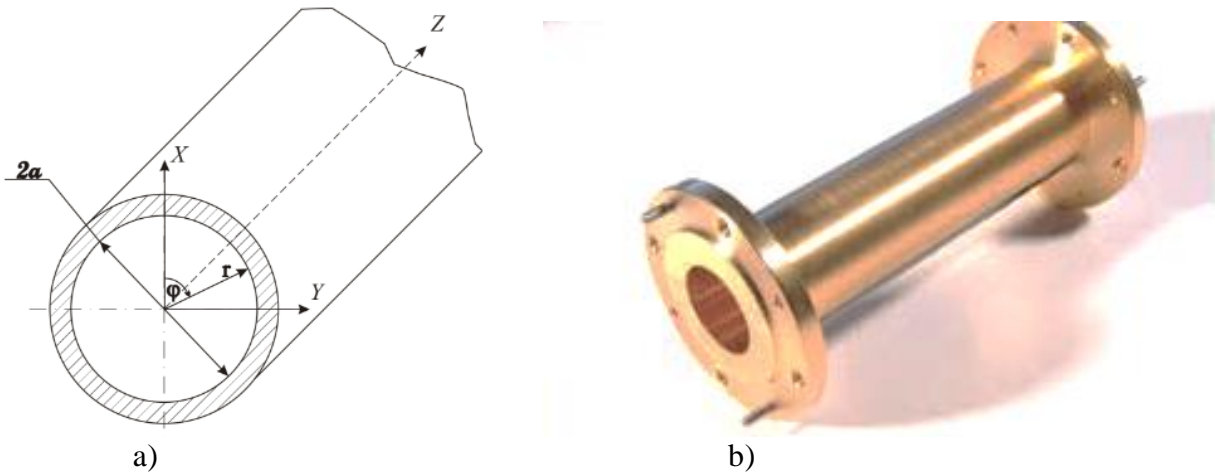
Bu tənliyə daxil olan k_c və k_z kəmiyyətləri eninə və uzununa dalğa ədədi adlanır. k_z ədədinə həmçinin yayılma sabiti, k_c -yə isə böhran dalğa ədədi deyilir. ψ funksiyası membran funksiyası adlanır. Çünki o, membran tənliyini, yəni ikiölçülü Helmhols tənliyini ödəyir. ∇_{\perp} isə Hamilton operatorudur.

Qeyd edildiyi kimi, dairəvi dalğaötürən en kəsiyi dairə olan metal borudur (şəkil 1, a, b).

Dairəvi dalğaötürənlərin elektromaqnit sahəsinin parameter və xarakteristikalarını təyin etmək üçün ilk növbədə Leontoviç-Şukin sərhəd şərtini nəzərə almaq lazımdır. Bu şərt sonlu ölçülərə malik metallik cisimlər mövcud olduğu zaman sahəni müəyyən etmək mühüm məsələlərdən biri sayılır. Bu məsələnin həllini xeyli asanlaşdırmaq üçün Leontoviç-Şukin sərhəd hərti adlanan təqribi şərtlər daxil edilir. Adi sərhəd şərtlərindən fərqli olaraq Leontoviç-Şukin sərhəd şərtləri və vektorlarının bir mühitdəki təşkiləndləri arasındakı əlaqəni göstərir. Leontoviç-Şukin sərhəd şərtinin ifadəsi aşağıdakı kimidir [4-8]:

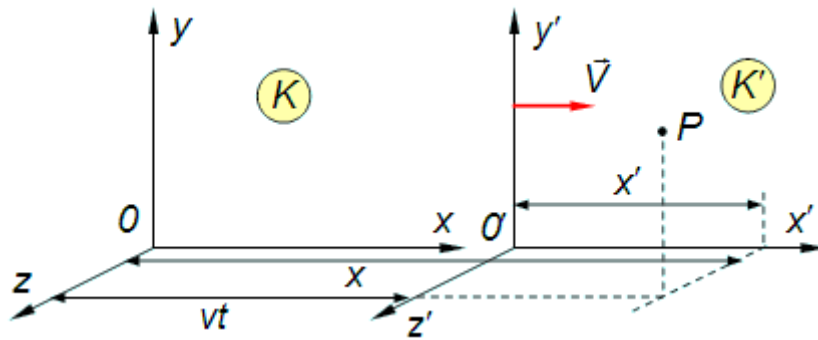
$$\vec{E}_{1\tau} = z_{c2} [\vec{n}_0, \vec{H}_1]. \quad (2)$$

Bu münasibətdən görünür ki dairəvi dalğaötürənin real metal səthində elektrik sahəsinin toxunan (tangensial) təşkilədni sıfırdan fərqlənir.



Şəkil 1. Dairəvi dalğaötürən: a) en kəsiyinin sahəsi; b) fəza modeli

Real praktikada elektromaqnit dalğaları yayılan mühit özünü qeyri-xətti kimi apardığından dalğaötürənin daxilində elektrik və maqnit sahələrinin intensivlikləri müxtəlif qiymətlər alaçaqdır. Ona görə də hərəkət edən koordinat sistemindən istifadə etmək zərurəti yaranır (şəkil 2).



Şəkil 2. Hərəkət edən koordinat sistemi

Şəkil 1, a-da göstərilən dairəvi dalğaötürənə baxaq. Bu dalğaötürəndə sahə məsələsi (r, θ, Z) silindrik koordinat sistemində həll olunmalıdır ($X_1=r, x=\theta, h_1=1, h_2=r$). Bu koordinat sistemində $\nabla_{\perp}^2 + k_c^2 \psi$ tənliyi [1]

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \theta^2} + k_c^2 \psi = 0, \quad (3)$$

şəklində yazılır. Dairəvi dalğaötürəndə E-tip və H-tip elektromaqnit dalğaları yayıldığından (3) tənliyinin həlli aşağıdakı kimi axtarılır [1]:

E-tip dalğa üçün

$$E_r^{nm} = -i \frac{\beta}{\chi_{nm}} J_n'(\chi_{nm} r) \psi_n(\theta) \exp(-i\beta z), \quad (4)$$

$$E_{\theta}^{nm} = -i \frac{n\beta}{\chi_{nm}^2 r} J_n(\chi_{nm} r) \psi_n'(\theta) \exp(-i\beta z), \quad (5)$$

$$E_z^{nm} = J_n(\chi_{nm} r) \psi_n(\theta) \exp(-i\beta z), \quad (6)$$

$$H_r^{nm} = i \frac{n\omega\varepsilon_0}{\chi_{nm}^2 r} J_n(\chi_{nm}r) \psi_n'(\theta) \exp(-i\beta z), \quad (7)$$

$$H_\theta^{nm} = -i \frac{\omega\varepsilon_0}{\chi_{nm}} J_n'(\chi_{nm}r) \psi_n(\theta) \exp(-i\beta z), \quad (8)$$

$$H_z = 0, \quad (9)$$

$$\beta = \beta_{nm}^E = \sqrt{\omega^2 \varepsilon_0 \mu_0 - \left(\frac{v_{nm}}{a}\right)^2}, \quad (10)$$

Burada

$$\psi_n(\theta) = C_1 \cos n\theta + C_2 \sin n\theta, \quad \psi_n'(\theta) = -C_1 \sin n\theta + C_2 \cos n\theta, \quad J_n'(\chi_{nm}r) - \chi_{nm}r$$

arqumentinə görə funksiyanın törəməsi, $\chi_{nm} = v_{nm} / a -$ eninə dalğa ədədi, $v_{nm} - n$ tərtibli birinci Bessel funksiyanının m -ci kökü, a -dalğaötürənin radiusudur.

H-tip dalğa üçün

$$H_r^{nm} = -i \frac{\beta}{\chi_{nm}} J_n'(\chi_{nm}r) \psi_n(\theta) \exp(-i\beta z), \quad (11)$$

$$H_\theta^{nm} = -i \frac{n\beta}{\chi_{nm}^2 r} J_n(\chi_{nm}r) \psi_n'(\theta) \exp(-i\beta z), \quad (12)$$

$$H_z = J_n(\chi_{nm}r) \psi_n(\theta) \exp(-i\beta z), \quad (13)$$

$$E_r^{nm} = i \frac{n\omega\mu_0}{\chi_{nm}^2 r} J_n(\chi_{nm}r) \psi_n'(\theta) \exp(-i\beta z), \quad (14)$$

$$E_\theta^{nm} = -i \frac{\omega\mu_0}{\chi_{nm}} J_n'(\chi_{nm}r) \psi_n(\theta) \exp(-i\beta z), \quad (15)$$

$$H_z^{nm} = 0, \quad (16)$$

$$\beta = \beta_{nm}^H = \sqrt{\omega^2 \varepsilon_0 \mu_0 - \left(\frac{v'_{nm}}{a}\right)^2}, \quad (17)$$

burada $\chi_{nm} = v'_{nm} / a$ eninə dalğa ədədi v'_{nm} burada n tərtibli birinci Bessel funksiyanının m -ci köküdür.

Şəkil 2, b-də göstərilmiş stasionar və hərəkət edən koordinat sistemləri arasındakı əlaqə Lorens çevrilməsi ilə təyin olunur və silindrik sistemdə aşağıdakı kimidir:

$$r = r', \theta = \theta', z = \frac{z' + vt'}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, t = \frac{t' + (v/c^2)z'}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \quad (18)$$

$$E_r = \frac{E_r' + vB_\theta'}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, E_\theta = \frac{E_\theta' - vB_r'}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, E_z = E_z', \quad (19)$$

$$B_r = \frac{B_r' - (v/c^2)E_\theta'}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, B_\theta = \frac{B_\theta' + (v/c^2)E_r'}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, B_z = B_z'. \quad (20)$$

$$\varphi = \omega t - \beta z = \omega' t' - \beta' z' = \varphi'$$

olduğunu nəzərə alsaq uzununa dalğa ədədi və tezlik üçün aşağıdakı ifadələri alırıq:

$$\beta' = \frac{\beta - (v/c^2)\omega}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \omega' = \frac{\omega - v\beta}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}. \quad (21)$$

Beləliklə, hərəkət edən koordinat üçün aşağıdakıları alırıq:

E-tip dalğa üçün

$$E_z'^{nm} = J_n(\chi_{nm}r')\psi_n(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (22)$$

$$E_r'^{nm} = -i \frac{\beta - (v/c^2)\omega}{\chi_{nm}\sqrt{1 - (v/c)^2}} J_n'(\chi_{nm}r')\psi_n(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (23)$$

$$E_\theta'^{nm} = -in \frac{\beta - (v/c^2)\omega}{\chi_{nm}^2 r' \sqrt{1 - (v/c)^2}} J_n(\chi_{nm}r')\psi_n'(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (24)$$

$$H_z' = 0, \quad (25)$$

$$H_r'^{nm} = i \frac{n\varepsilon_0(\omega - v\beta)}{\chi_{nm}^2 r' \sqrt{1 - (v/c)^2}} J_n(\chi_{nm}r')\psi_n'(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (26)$$

$$H_\theta'^{nm} = -i \frac{\varepsilon_0(\omega - v\beta)}{\chi_{nm}\sqrt{1 - (v/c)^2}} J_n'(\chi_{nm}r')\psi_n(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (27)$$

H-tip dalğa üçün

$$E_z'^{nm} = 0, \quad (28)$$

$$E_r'^{nm} = -i \frac{n\mu_0(\omega - v\beta)}{\chi_{nm}^2 r' \sqrt{1 - (v/c)^2}} J_n(\chi_{nm}r')\psi_n'(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (29)$$

$$E_\theta'^{nm} = i \frac{\mu_0(\omega - v\beta)}{\chi_{nm}\sqrt{1 - (v/c)^2}} J_n'(\chi_{nm}r')\psi_n(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (30)$$

$$H_z'^{nm} = J_n(\chi_{nm}r')\psi_n(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (31)$$

$$H_r'^{nm} = -i \frac{\beta - (v/c^2)\omega}{\chi_{nm}^2 \sqrt{1 - (v/c)^2}} J_n'(\chi_{nm}r')\psi_n(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (32)$$

$$H_\theta'^{nm} = -in \frac{\beta - (v/c^2)\omega}{\chi_{nm}^2 r' \sqrt{1 - (v/c)^2}} J_n(\chi_{nm}r')\psi_n'(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (33)$$

Sahə təşkilənlərini bilərək hərəkət edən koordinat üçün Umov-Poyntinq vektorunu da təyin etmək olar:

$$S' = \frac{1}{2} [E', H'^*] = \frac{1}{2} \{ e_r (E_\theta' H_z'^* - E_z' H_\theta'^*) + e_\theta (E_z' H_r'^* - E_r' H_z'^*) + e_z (E_r' H_\theta'^* - E_\theta' H_r'^*) \} \quad (34)$$

E-tip dalğa üçün

$$S_r' = -\frac{1}{2} E_z' H_\theta'^* = -\frac{1}{2} i \frac{\varepsilon_0(\omega - v\beta)}{\chi_{nm}\sqrt{1 - (v/c)^2}} J_n(\chi_{nm}r') J_n'(\chi_{nm}r') \psi_n^2(\theta'), \quad (35)$$

$$S'_\theta = -\frac{1}{2} E'_z H'_r{}^* = -\frac{1}{2} i \frac{n\varepsilon_0(\omega - v\beta)}{\chi_{nm}^2 r' \sqrt{1 - (v/c)^2}} J_n^2(\chi_{nm} r') \psi_n(\theta') \psi'_n(\theta'), \quad (36)$$

$$S'_z = \frac{1}{2} (E'_r H'_\theta{}^* - E'_\theta H'_r{}^*) = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon_0(\omega - v\beta)(\beta - \frac{v}{c^2} \omega)}{\chi_{nm}^2 (1 - (v/c)^2)} \left\{ -\frac{n^2}{\chi_{nm}^2 r'^2} J_n^2(\chi_{nm} r') \psi_n'^2(\theta') - J_n'^2(\chi_{nm} r') \psi_n^2(\theta') \right\} \quad (37)$$

H-tip dalğa üçün

$$S'_r = -\frac{1}{2} E'_\theta H'_z{}^* = \frac{1}{2} i \frac{\mu_0(\omega - v\beta)}{\chi_{nm} \sqrt{1 - (v/c)^2}} J_n(\chi_{nm} r') J'_n(\chi_{nm} r') \psi_n^2(\theta'), \quad (38)$$

$$S'_\theta = -\frac{1}{2} E'_r H'_z{}^* = \frac{1}{2} i \frac{n\mu_0(\omega - v\beta)}{\chi_{nm}^2 r' \sqrt{1 - (v/c)^2}} J_n^2(\chi_{nm} r') \psi_n(\theta') \psi'_n(\theta'), \quad (39)$$

$$S'_z = \frac{1}{2} (E'_r H'_\theta{}^* - E'_\theta H'_r{}^*) = \frac{1}{2} \frac{\mu_0(\omega - v\beta)(\beta - \frac{v}{c^2} \omega)}{\chi_{nm}^2 (1 - (v/c)^2)} \left\{ \frac{n^2}{\chi_{nm}^2 r'^2} J_n^2(\chi_{nm} r') \psi_n'^2(\theta') - J_n'^2(\chi_{nm} r') \psi_n^2(\theta') \right\}. \quad (40)$$

Şəkil 3-də v_{qr} sürəti ilə hərəkət edən koordinatda E_{01} (a), E_{11} (b), H_{01} (c), H_{11} (d) dalğalarının güc selinin sıxlığı göstərilmişdir. Cədvəl 1-də müxtəlif m və n indeksləri üçün v_{mn} və χ_{mn} -in qiymətləri verilmişdir. Cədvəl 2 və cədvəl 3-də 9 QHs tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin uyğun olaraq elektrik və maqnit sahələrinin intensivliklərinin (22)-(33) düsturları ilə hesablanmış qiymətləri göstərilmişdir [9-14]. Şəkil 4 və şəkil 5-də 9 QHs tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin uyğun olaraq elektrik və maqnit sahələrinin intensivliklərinin elementar oblastlara görə Z oxu boyunca paylanmaları göstərilmişdir.

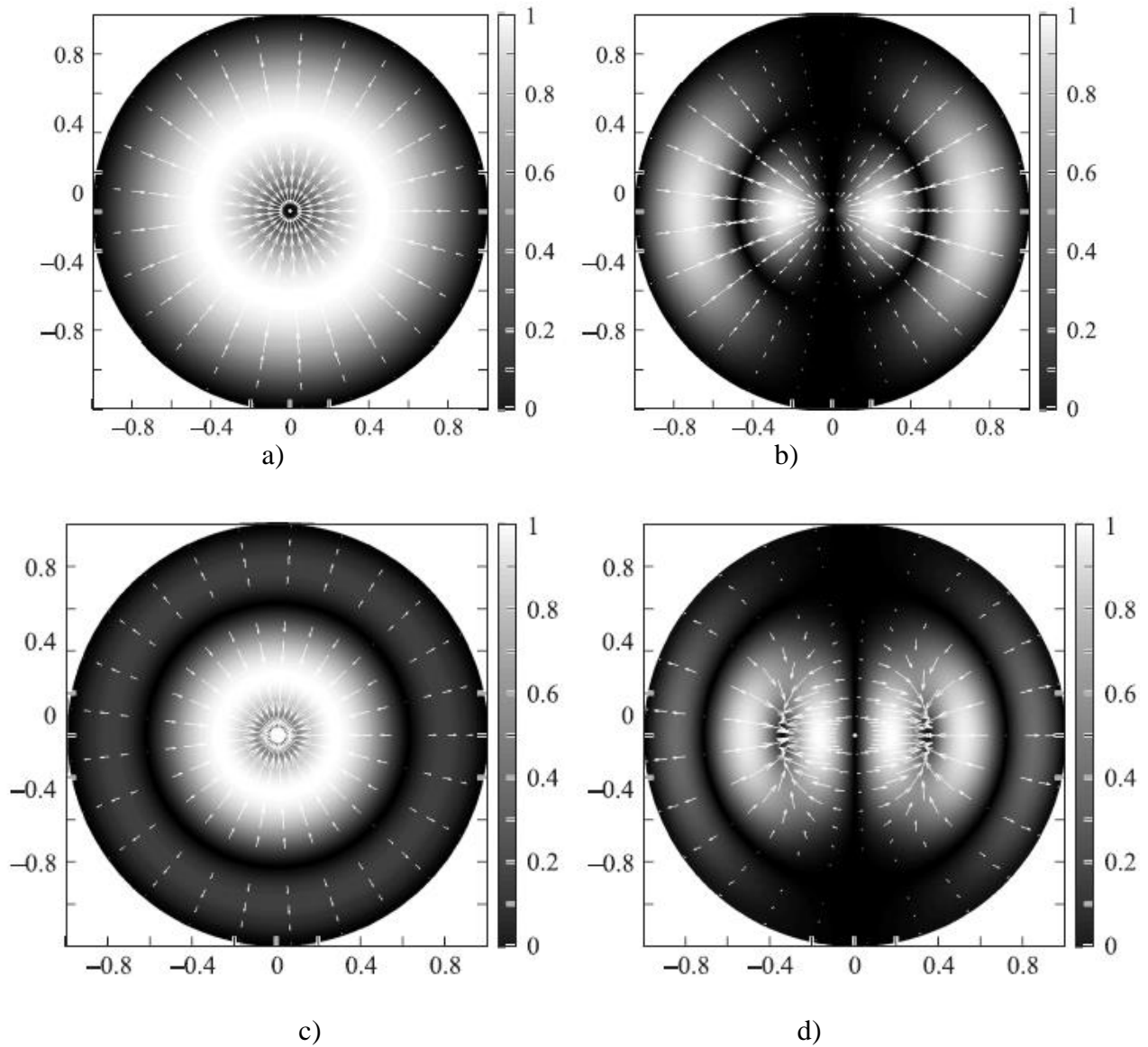
Cədvəl 1.

Müxtəlif m və n indeksləri üçün v_{mn} və χ_{mn} -in qiymətləri [1]

m	n-in müxtəlif qiymətlərində v_{mn}			n-in müxtəlif qiymətində χ_{mn}		
	n=1	n=2	n=3	n=1	n=2	n=3
0	2,405	5,520	8,654	3,382	7,016	10,174
1	3,832	7,016	10,174	1,840	5,335	6,705
2	5,135	8,417	11,620	3,054	6,705	9,969
3	6,380	9,761	13,015	4,201	8,015	11,346

Şəkil 6-dan görünür ki, H_{11} tipli dalğanın sahəsinin stukturu düzbucaqlı dalğaötürəndə H_{10} tipli dalğanın stukturuna bənzəyir. Odur ki, H_{11} tipli dalğa dairəvi dalğaötürəndə əsas tip dalğa sayılır.

Dalğaötürənin divarlarında H_{11} tipli dalğalar üçün ψ funksiyasının qiyməti sabit qaldığından $\left(\frac{\partial \psi}{\partial \theta} = \frac{\partial \psi}{\partial l} = 0\right)$, onların sönmə sabitləri tezlik artdıqca azalır. Bu isə H_{11} tipli dalğanı, İYT siqnalları az itki ilə uzaq məsafələrə ötürməyə, yəni uzaq rabitəni təmin etməyə əlverişli imkanlar yaradır. Məsələn, 50 mm diametrə malik mis dalğaötürəndə 37,5 QHs tezlikdə ($\lambda=8$ mm) H_{11} tipli dalğa üçün sönmə (zəifləmə) sabitinin nəzəri qiyməti 0,2 dB/km tərtibindədir. Bu o deməkdir ki, 10 km-lik məsafədə ötürülən dalğanın gücü cəmi 1,6 dəfə azalır. Qeyd etmək lazımdır ki, bu şəraitdə radiodalğaötürən daxilində işçi dalğalarla yanaşı, başqa tipli dalğalar da yayılır. Lakin onların zəifləməsi olduqca güclüdür.



Şəkil 3. Qrup sürəti ilə hərəkət edən koordinatda E_{01} (a), E_{11} (b), H_{01} (c), H_{11} (d) dalğalarının güc selinin sıxlığı

Şəkil 6-da yuxarıdakı ifadələr əsasında qurulmuş E-dalğalar və H-dalğalar üçün dairəvi dalğaötürəndə bəzi tip elektromaqnit dalğalarının stukturu (elektromaqnit dalğalarının stukturu, elektromaqnit sahəsinin qüvvə xətlərinin epürləri) təsvir edilmişdir.

Məlumdur ki, radiodalğaötürənləri layihələndirdikdə, onlarda bir qayda olaraq, texnoloji deffektlər, o cümlədən qeyri-hamarlılıqlar, kələ-kötürlülüklər və ölçülərdən digər kənara çıxmalar baş verir. Bunların nəticəsində H_{11} tipli dalğanın enerjisi başqa tip dalğaların enerjisinə çevrilir. Bu hadisə ilə aradan qaldırmaq üçün qeyri-işçi dalğaların radiodalğaötürənin daxilində yayılmasına yol verməmək lazımdır. Bu məqsədlə radiodalğaötürən bir-birindən izolə olunmuş ayrı-ayrı dairələr şəklində hazırlanır və onun daxili xüsusi uducu maddə ilə örtülür. Şəkil 7-də dairəvi dalğaötürənin məxsusi rəqslərinin spektri göstərilmişdir.

Cədvəl 2.

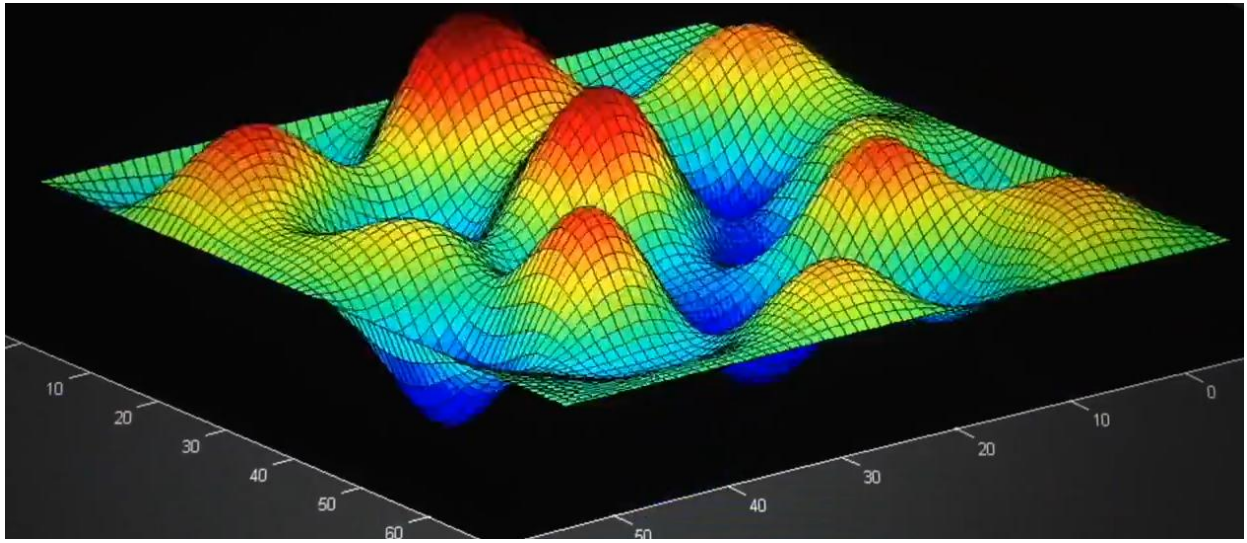
9 QHs tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elektrik sahəsinin intensivliklərinin qiymətləri

Elementar sahələrin sayı	E-tip dalğa		H-tip dalğa	
	E_z^{nm} , V/m(10^5)	E_r^{nm} , V/m(10^5)	E_r^{nm} , V/m(10^5)	E_θ^{nm} , V/m(10^5)
1	10,21	12,42	44,80	80,64
2	12,58	19,59	42,92	85,72
3	13,47	25,81	37,67	90,84
4	75,59	72,92	49,89	27,68
5	34,61	10,68	58,77	19,53
6	21,90	10,50	93,68	20,30
7	14,79	18,72	27,68	25,79
8	12,71	17,55	33,59	28,28
9	14,79	25,60	42,60	34,64
10	16,51	14,68	45,79	10,92
11	18,47	9,31	58,27	26,69
12	26,91	8,59	65,15	40,68
13	33,21	16,17	90,96	68,79
14	70,32	18,85	33,68	76,16
15	11,29	24,37	28,35	80,05
16	10,95	32,89	26,71	71,29
17	19,88	45,43	16,56	39,57
18	22,59	57,71	45,42	35,06
19	39,49	23,49	49,87	18,72
20	87,21	12,95	68,23	13,95

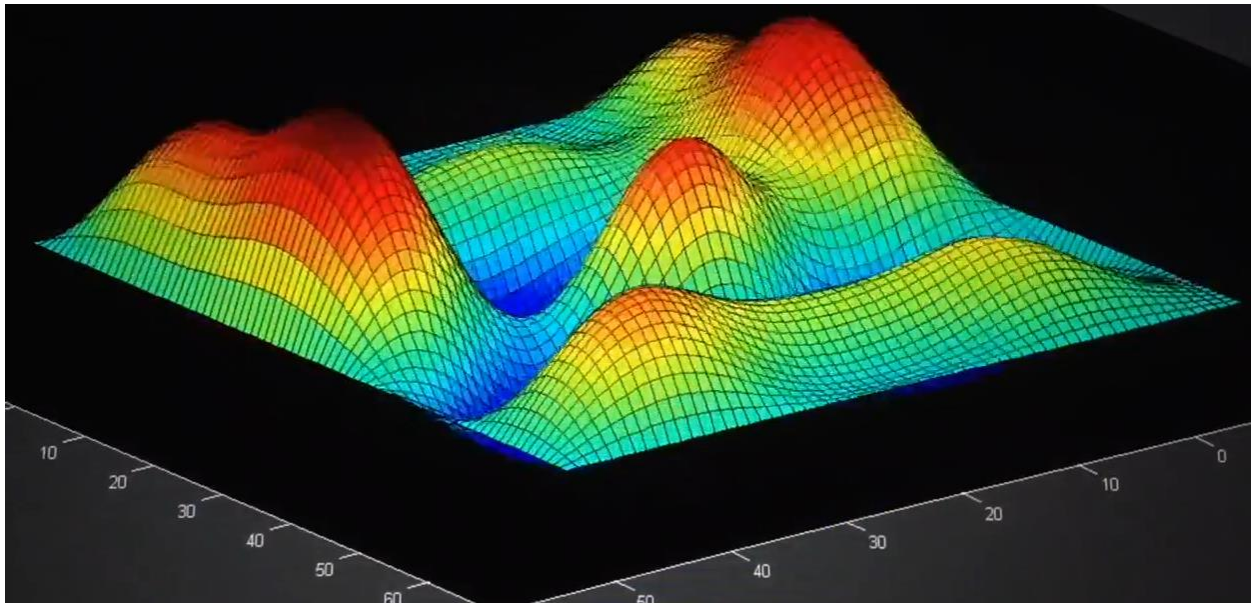
Cədvəl 3.

9 QHs tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin maqnit sahəsinin intensivliklərinin qiymətləri

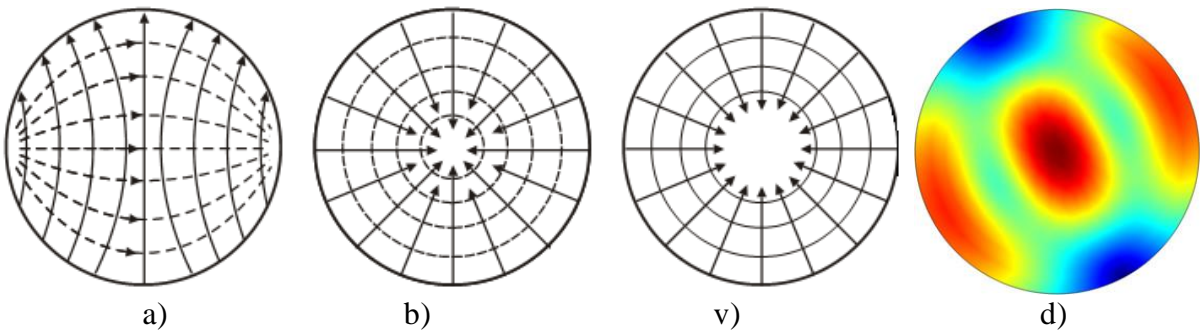
Elementar sahələrin sayı	E-tip dalğa		H-tip dalğa	
	H_r^{nm} , A/m	H_θ^{nm} , A/m	H_r^{nm} , A/m	H_θ^{nm} , A/m
1	42,36	44,49	35,29	23,39
2	25,45	52,23	23,66	34,15
3	27,27	65,35	36,36	85,56
4	64,13	75,36	41,04	57,51
5	62,76	65,40	23,50	17,25
6	33,44	96,23	28,56	25,56
7	47,27	63,27	32,54	46,24
8	39,34	24,35	22,46	19,26
9	42,53	41,24	96,28	49,28
10	50,24	12,33	17,12	55,16
11	94,57	25,04	12,28	31,12
12	66,29	38,19	41,36	30,07
13	82,39	34,47	54,87	63,42
14	73,35	57,31	24,13	12,35
15	48,32	78,06	85,23	17,53
16	36,57	57,38	56,72	45,95
17	64,59	19,25	23,13	79,30
18	92,25	19,20	23,34	56,97
19	83,94	76,46	82,67	96,18
20	75,53	25,33	13,72	15,69



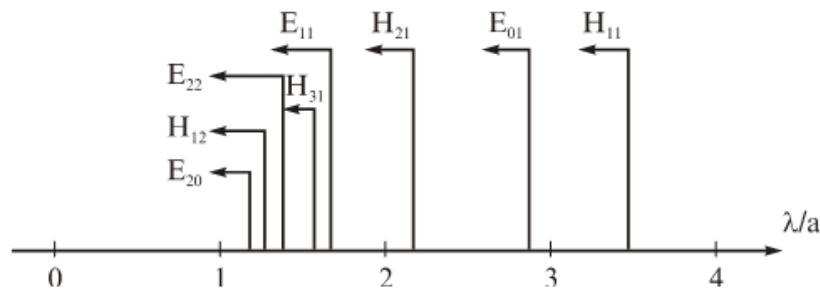
Şəkil 4. 9 QHz tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elektrik sahəsinin intensivliklərinin elementar oblastlara görə Z oxu boyunca paylanması



Şəkil 5. 9 QHz tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin maqnit sahəsinin intensivliyinin elementar oblastlara görə Z oxu boyunca paylanmaları



Şəkil 6. Dairəvi dalğaötürəndə elektromaqnit sahəsinin qüvvə xətləri:
a) H_{11} ; b) E_{01} ; v) H_{01} ; d) H_{11} dalğasının sahəsinin vizual paylanması
—elektrik sahəsinin, --- isə maqnit sahəsinin qüvvə xətləridir



Şəkil 7. Dairəvi dalğaötürənin məxsusi dalğalarının spektri

Nəticə. Dalğaların stukturunun təhlilindən aşağıdakıları qeyd etmək olar:

1. Dairəvi dalğaötürəndən aşağı tipli dalğa (H_{11}) düzbucaqlı dalğaötürəndəki H_{10} tipli dalğaya oxşayır. H_{11} tipli dalğanı bir-birinə qarşılıqlı perpendikulyar iki dalğanın cəmi kimi göstərmək olar.

2. Hər iki dalğa eyni paylanma əmsalına malikdir və cırlaşmışlar. Dairəvi dalğaötürənin eninə kəsiyinin formasında bu və ya digər qeyri-bircinsli, o cümlədən, kiçik elliptik və ya başqa cür pozulma olsa, onda hər iki dalğanın amplitudları və faza sürətləri bərabər olar. Bu da yekun dalğanın polyarizasiya müstəvisinin dönməsinə səbəb olur. Polyarizasiya müstəvisinə nəzarət etmək isə çətindir, ona görə də dairəvi dalğaötürəndə enerji ötürməkdə H_{11} dalğasından istifadə edilir.

3. Öz quruluşuna görə azimutal bircinsli sahəyə malik H_{11} dalğası bir də ona görə maraqlıdır ki, dalğaötürənin divarlarında H_{φ} təşkilədənini olmur və yalnız \vec{H} vektorunun uzununa komponenti olur. Bu da $\frac{\lambda_b}{R} \rightarrow 0$ halında sıfıra yaxınlaşır. Deməli, limitdə dalğaötürənin divarlarında sahə olmur və divarlardan cərəyan axmır. Bu isə göstərir ki, dairəvi dalğaötürəndə H_{11} tipli dalğa zəif sönməyə malikdir.

4. Dairəvi dalğaötürəndə H_{11} tipli dalğa dairəvi simmetriyaya malikdir. Bunun sayəsində H_{11} tipli dalğa antena qurğularının fırlanan birləşmələrində istifadə olunur. Bundan başqa dalğaötürənin oxu boyunca konsentrə olunmuş elektrik sahəsinin uzununa təşkilədəninin mövcudluğu sayəsində dalğaötürəni xətti elektron sürətləndiricilərində tətbiq etməyə imkan verir.

5. Enerji ötürülməsində H_{11} tipli dalğadan dairəvi dalğaötürəndən istifadə etmək sərfəlidir. H_{11} tipli dalğa zəif sönməyə malikdir. Sönməyə əsas səbəb H_{01} , E_{01} , E_{11} , H_{21} tipli dalğaların yayılmasıdır. Ona görə də ixtiyari qeyri-bircinsliklər müxtəlif tiplərin çevrilməsinə gətirir. Bunun nəticəsində isə siqnalın təhrif olur, enerji itkisi artır və s. Odur ki, dalğaötürənlər və onlara əsaslanan qurğular olduqca dəqiq hazırlanmalıdır.

Ədəbiyyat

1. E.Q.İsmibəyli, İ.C.İslamov. Elektrodinamika və radiodalğaların yayılması. Ali məktəblər üçün dərslik. Bakı: Elm, 2006, 450 s.
2. Под ред. А.М.Чернущенко. Конструирование экранов и СВЧ устройств. М.: Радио и связь, 1990, 567 с.
3. Л.Н.Корнушова. Электродинамика. М: Изд. Контур, 2005, 112 с.
4. В.В.Никольский, Т.И.Никольская. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Наука, 1989, 544 с.
5. Д.Ю.Муромцев, Ю.Т.Зырянов, П.А.Федюнин и др. Электродинамика и распространение радиоволн. Учебное пособие. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012, 200 с.
6. Б.М.Петров. Электродинамика и распространение радиоволн. Учебник для вузов. 2-е изд., испр. М.: Горячая линия Телеком, 2007, 558 с., ил.

7. М.Н.Новокшанов. Электродинамика и распространение радиоволн. Рига: РВВАИУ, 1981, 563 с.
8. О.И.Фальковский. Техническая электродинамика. Учебник. 2-е изд., стер. СПб.: Изд-во «Лань», 2009, 432 с.
9. E.G.Ismibayli, I.J.Islamov, Y.G. Gaziyeu. Calculation Of The Electromagnetic Field Of The Microwave Of Devices With Use Of Method FDTD And Integral Kirchhoff. International Journal of Engineering Innovation and Research (IJEIR), Volume 5, Issue 1, (2016) 103-106.
10. E.G.Ismibayli, I.J.Islamov, Y.G. Gaziyeu. Modeling Of Electromagnetic Fields Of Microwave Devices On The Basis Of Matlab Program. International Journal of Innovative Science, Engineering and Technology (IJSET), Volume 3, Issue 2, (2016) 61-63.
11. E.G.Ismibayli, I.J.Islamov, Y.G.Gaziyeu. An Optimal Control Of An Electromagnetic Field In High-Powered Microwave Devices. International Journal of Trend in Research and Development (IJTRD), Volume 3(1), (2016) 246-249.
12. E.G.Ismibayli, I.J.Islamov, Y.G.Gaziyeu. Modeling of Anisotropic Rectangular Waveguide Partially Embedded in an Anisotropic Substrate. Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST). Volume 2, Issue 2, (2015) 153-157.
13. Islam J. Islamov. Application of finite elements method by calculating electric field of hollow rectangular waveguide. IASTED, 2005, Canada, Calgary, (2005) 26-32.
14. Islam J. Islamov. Numerical method for analysis of electromagnetic field of microwave waveguide. International Conference on Antenna Theory and Techniques. September 9-12, Sevastopol, Ukraine, (2003) 45-50.

Tövsiyə edib: f-r.e.n., dos. S.A.Əliyev

УДК 532.5:629.735.35

MATHEMATICAL MODELING OF HIGHSPEED SHIP'S HYDRODYNAMICS

Mayboroda O.M.

*State University of Infrastructure and Technologies, Ukraine
Kyiv Institute of Water Transport
Kyryliska st. 9, Kyiv, Ukrayna 02000
E-mail: olexander.mayboroda@gmail.com*

Abstract. *The nonlinear mathematical model of no steady hydrodynamics for a body intersecting a free surface of fluid is considered. Unlike the known approaches, the problem definition that is given here is more general. A calculation example of the high-speed ship's towing resistance in the Froude number's range from flotation to gliding is given. A satisfactory agreement of the calculation results with the experimental data is shown.*

Xülasə. *Məqalədə mayenin sərbəst səthini kəsib keçən cisim üçün qeyri-stasionar hidrodinamikasının qeyri-xətti riyazi modeli nəzərdən keçirilir. Bundan əvvəl bilinən yanaşmalardan fərqli olaraq burada tapşırıqın daha ümumi şəkildə qoyulması təklif olunur. Yüksək sürətli gəminin Frud ədədləri diapazonunda üzmə rejimindən glissirovka sürüşməsinə qədər buksir müqavimətinin hesablanma misalı göstərilmişdir. Məqalədə hesablama nəticələrinin eksperimental məlumatlarla qənaətbəxş uzlaşması göstərilmişdir.*

Аннотация. *Рассмотрена нелинейная математическая модель нестационарной гидродинамики для тела, пересекающей свободную поверхность жидкости. В отличие от известных подходов, здесь предлагается более общая постановка задачи. Приводится пример расчета буксировочного сопротивления высокоскоростного судна в диапазоне чисел Фруда*