

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

QAZ-MAYE MÜHİTİNİN MEXANİKA METODLARININ BƏZİ GƏMİÇİLİK MƏSƏLƏLƏRİNİN HƏLLİNƏ TƏTBİQİ

İxtisas: 2003.01- Maye, qaz və plazma mexanikası

Elm sahəsi: Mexanika

İddiaçı: **Gülşən Ağasəf qızı Axundova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2021

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının "Tətbiqi mexanika" kafedrasında və AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun "Tətbiqi riyaziyyat" şöbəsində yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Faiq Bəhmən oğlu Nağıyev

Rəsmi opponentlər: AMEA-nın müxbir üzvü, t.e.d.
Qeylani Minhac oğlu Pənahov

AMEA-nın müxbir üzvü, t.e.d., prof
Ramiz Seyfulla oğlu Qurbanov

f.-r.e.n., dosent
Məmməd Səməd oğlu Aslanov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən birdəfəlik **BFD 3.04** Dissertasiya Şurası

Dissertasiya şurasının sədri:



AMEA-nın müxbir üzvü, f.-r.e.d., professor
Misir Cumail oğlu Mərdanov

Birdəfəlik dissertasiya şurasının elmi katibi:

f.-r.e.n., dosent
Məhsəti Akif qızı Rüstəмова

Elmi seminarın sədri:

AMEA-nın müxbir üzvü, t.e.d.
Qeylani Minhac oğlu Pənahov

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Maye və qaz mexanikasında gəmiçilikdə həll olunan məsələlərdə vacib analitik üsulların olmaması, burada təsadüf olunan hadisə və proseslərin daha dəqiq tədqiq olunmasını labüd edir. Qeyd etmək olar ki, içində qaz qabarcıqları olan suyun sərhəd qatı ilə gəmi gövdəsinin dinamik qarşılıqlı təsirinin əsas qanunauyğunluqları indiyə kimi kifayət qədər tədqiq olunmamışdır. Ona görə də gəmi-maye sisteminin dinamikasını xarakterizə edən proseslərin modelləşməsinə və bu əsasdan analitik üsulların işlənməsinə böyük ehtiyac var.

Gəmiçiliyin inkişafının mühüm problemlərindən biri də müxtəlif dövrlərdə gəminin dənizdə üzməsində təhlükəsizliyinin təmin edilməsidir.

Okean mühitində səs və akustik dalğaların yayılma prosesi çox mürəkkəb olub sona qədər tədqiq olunmamışdır. Burada akustik dalğaların yayılma qanunlarını bilmək həm okeanologiya sahəsində çalışan mütəxəssislərə və həm də müxtəlif hidroakustik apaturalarını işlədən mühəndislərə lazımdır.

Gəmilərdə ənənəvi su ilə soyutma sistemləri yüksək istilik yükünün öhdəsindən gələ bilmir. Bu isə kiçik dövrriyyəli mühərriklərin(KDM) gücünün və nəticədə gəminin gücünün azalmasına və sirkulyasiya üçün elektrik enerjisinin artıq sərfinə gətirir. Ona görə də gəmilərin daxiliyanma mühərriklərinin soyutma sisteminin effektivliyinin artırılması problemi kifayət qədər aktualdır.

Silindrin qapaqları və silindr-porşen qrupunun hissələrinə təsir edən yüksək istilik və mexaniki yüklərlə əlaqədar silindrşəkilli oymaqların soyutma köynəyində kavitasiya hadisələrinin yaranması ehtimal olunur. Bununla əlaqədar yüksək dövrriyyəli və təkmilləşmiş daxiliyanma mühərrikləri(DYM) üçün soyutma sistemlərinin təkmilləşməsi məsələsi vacibdir.

Dissertasiya işində araşdırılıb həllini tapmış məsələlər aktualdır.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Qaz-maye mexanika metodlarının bəzi gəmiçilik məsələlərinə tətbiqi

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. İşin məqsədi qaz-maye mühitinin mexanika metodlarının bəzi gəmiçilik məsələlərinin həllinə tətbiqi və istismar proseslərində resurslara qənaət və ekoloji göstəricilərin yaxşılaşdırılmasının tədqiqlərindən ibarətdir.

Tədqiqat metodları. Riyazi modellərin qurulmasında ikifazlı mühit mexanikası metodlarından istifadə olunmuşdur. Qoyulan məsələlərin həlli üçün həyəcanlandırma, dəyişənlərə ayırma və həmçinin adi diferensial tənliklər sisteminin ədədi integrallama üsulları tətbiq olunmuşdur.

İşlənmiş riyazi metodların tətbiqi və eyni zamanda xüsusi hallarda dissertasiyada alınan nəticələrin qaz-maye mühiti nəzəriyyəsinin klassik nəticələri ilə üst-üstə düşməsi alınmış həllərin və çıxarıların etibarlılığını təsdiq edir. Dənizdə gəmilərin çökməsinin səbəbini təsdiqləmək üçün təklif olunan eksperimental tədqiqatların nəticələri dissertasiya işində riyazi modellərlə təsdiqlənmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

- qabarcıqlı mayenin məlum hal tənliyinin dissertasiyada təklif edilən modeli ilə qazın həcmi konsentrasiyasının geniş diapazonda qarışığın təzyiqinin və vəziyyətinin təsvirini təsdiq edən hesablamaların nəticələri;
- bir sıra hesablamalara uyğun gələn qaz-maye qarışığının qüvvət və eksponensial funksiyalar şəklində alınmış yeni hal tənlikləri;
- dəniz suyunda səsin yayılmasının və sönməsinin əsas qanunauyğunluqlarının təsviri və fiziki interpretasiyası;
- təklif olunan modelin köməyi ilə dəniz gəmisinin ətrafında axın sürətinin artması ilə suda təzyiq və sıxlığın azalmasının çökmə prosesinin nəzəri və təcrübi təsdiqlənməsi;
- kavitasiya-korroziya dağılmalarının mümkünlüyünə həsr olunan nəzəri tədqiqatların nəticələri;
- gəminin DYM-nin istismar göstəricilərinə təsir edən istilik-fiziki parametrlərin təyin olunmasını təsvir edən riyazi modellər.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Analitik tədqiqatların aparılmasında istifadə etməyə imkan verən qaz-mayə qarışığının eksponensial və qüvvət funksiyaları şəklində yeni hal tənlikləri təklif olunmuşdur.

Qaz qabarcıqlı dəniz suyunda səsin yayılma və sönməsinin əsas qanunauyğunluqlarının fiziki interpretasiyası verilmişdir.

Hərəkətdə olan dəniz gəmisinin ətrafında qaz qabarcıqlarının olması hesabına yüksək sürətli axında əhəmiyyətli dərəcədə suyun təzyiqinin və sıxlığının azalması haqqında fərziyyə təcrübi və nəzəri olaraq təsdiqlənmişdir.

Gəminin və pərinin yaxınlığında mayenin təzyiqinin profilinin təyini üçün riyazi model təklif olunmuşdur.

Gəmilərin qəflətən çökməsini müəyyən etməyə imkan verən və üzmənin təhlükəsizliyini təmin edən riyazi hesablamalar aparılmış və modellər qurulmuşdur.

Gəmilərin DYM-rinin istismar göstəricilərinin artırılması məqsədilə soyuducu mayenin istilik-fiziki parametrlərinin nəzəri tədqiqatlarla seçimi üçün optimal meyarlar alınmışdır.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. İşdə tədqiq olunan qaz qabarcıqlarının dinamikası, onların binar sistemdə paylanmaların səs dalğalarının yayılmasındakı qanunauyğunluqları, hal tənliyinin daha səmərəli formada alınması, mayenin özlülük və səthi gərilməsinin qabarcıqların qapanma-kavitasiya proseslərini əsaslandıran riyazi modelin çıxarılması, DYM-də temperatur dəyişmələrinin tənzimlənməsinin nəzəri əsaslarının verilməsi kimi hallar, maye və qaz mexanikası metodlarının gəmiçilik məsələlərində təhlükəsiz hərəkəti ilə əlaqədar yaranan fəsadların təsirlərini aradan qaldırmaq üçün tənzimləmə imkanlarını artırır.

Gəmi-mayə dinamik sistemində baş verən proseslərin qanunauyğunluqlarını əks etdirən çökmə və DYM-də soyutma sisteminin effektiv işləməsinə təmin edən yeni tərkibin axtarılması istiqamətində geniş və kompleks tədqiqatların aparılması gəmiçilik sahəsində vacib və düzgün həllərə gətirdiyindən iş praktik cəhətdən əhəmiyyətlidir.

Aprobasiyası və tətbiqi. İşin nəticələri Ümummilli lider Heydər Əliyevin 90 illiyinə həsr olunmuş VIII Beynəlxalq elmi

konfransda (Bakı, may 2013), AMEA-nın müxbir üzvü Y.Ə.Əmənzadənin 100 illiyinə həsr olunmuş Respublika elmi konfransında (Bakı, 22 may 2014), Heydər Əliyevin 91 illiyinə həsr olunmuş IX Beynəlxalq elmi konfransda (Bakı, may 2014), Heydər Əliyevin 92 illiyinə həsr olunmuş X Beynəlxalq elmi konfransda (Bakı, may 2015), "Nəqliyyatda iqtisadiyyatın və idarə etmənin aktual problemləri" adlı Ümumrusiya ali məktəblərarası XIII elmi-praktik konfransda (5-ci beynəlxalq) (Vladivostok, 22 may, 2015), Heydər Əliyevin 93 illiyinə həsr olunmuş XI Beynəlxalq elmi konfransda (Bakı, may 2016), Heydər Əliyevin 94 illiyinə həsr olunmuş XII Beynəlxalq elmi konfrans (Bakı, may 2017), Elm ilinə həsr olunmuş VIII Beynəlxalq elmi-praktiki konfransda (Qomel, 2017), akademik Azad Xəlil oğlu Mirzəcanzadənin 90 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfransda, (Bakı, 2020), 3-cü beynəlxalq "Riyazi inkişaf və tətbiqlər" konfransında (İstanbul, 2020) məruzə edilmişdir.

Müəllifin şəxsi töhfəsi. İşdə məsələlərin həlli və alınan nəticələr müəllifə məxsusdur.

Nəşrlər. Dissertasiya işinin mövzusunə aid respublika və xarici elmi jurnallarda 16 elmi iş, 1 monoqrafiya çap olunmuşdur. 10 məqalədən 4-ü tək, o cümlədən, beynəlxalq xülasələndirmə və indeksləmə siyahısına daxil olan dövrü elmi nəşrlərdə 5 məqalə çap olunmuş, 5 tezisdən 3-ü xaricdə dərc olunmuşdur.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının "Mexanika və riyaziyyat" kafedrasında və AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun "Tətbiqi riyaziyyat" şöbəsində yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işi giriş, mündəricat, üç fəsil, nəticə və istinad olunmuş 111 adda ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiya işinin ümumi həcmi 219466 işarədir (titul səhifəsi-353 işarə, mündəricat - 3190 işarə, giriş - 37969 işarə, birinci fəsil - 38000 işarə, ikinci fəsil - 56000 işarə, üçüncü fəsil - 84000 işarə, nəticələr - 1035 işarə).

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya mövzusunun aktuallığı, mövzuya aid olan işlərin xülasəsi, tədqiqatların məqsədi və işin qısa məzmunu verilmişdir.

Birinci fəsil “Qabarcıqlı mayedə səsin yayılmasının xüsusiyyətləri” adlanır. Bu fəsil beş yarım-fəsildən ibarət olmaqla qabarcıqlı mayenin hal tənliklərinin çıxarılmasına və dəniz suyunda səsin yayılma xüsusiyyətlərinin öyrənilməsinə həsr olunmuşdur. Dəniz suyunda səsin sürətinin faktiki qiymətinin hesabı və öyrənilməsi dənizin dərinliyində səs impulslarının keçmə xətasını təyin etməyə və ölçülən dərinliklərin dəqiqliyini artırmağa imkan verir.

1.1.-də $v_1 = v_2$, $T_1 = T_2$, $p_1 = p_2 = p$ termodinamik tarazlıqda olan, həll olunmayan qaz qabarcıqlı mayenin $p = p(\rho)$ barotrop hal tənliyinin çıxarılışına baxılmışdır. Burada v_i , p_i , T_i ($i = 1, 2$) – i -ci fazanın uyğun olaraq sürət, təzyiq və temperaturudur. 1 və 2 indeksləri uyğun olaraq maye və qaza aid parametrləri ifadə edir. Hesab edilir ki, qabarcıqlar eyni radiusa malikdir və həcmdə bərabər paylanmışlar. Bu halda

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{1}{\alpha_{10} + \alpha_{20} \frac{p_0}{p}} \quad \text{və ya} \quad \frac{p}{p_0} = \frac{\alpha_{20}}{\frac{\rho_0}{\rho} - \alpha_{10}} \quad (1)$$

hal tənliyi alınır. Burada α_1 və α_2 uyğun olaraq maye və qazın həcm konsentrasiyalarıdır.

1.2.-də termodinamik tarazlıq yaxınlaşması ilə daşıyıcı fazanın sıxılma qabiliyyətlərini nəzərə alaraq qabarcıqlı mayenin hal tənliyi aşağıdakı şəkildə verilmişdir:

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{\frac{p}{p_0} + C}{1 + C \left(\alpha_{10} + \alpha_{20} \frac{p_0}{p} \right)}, \quad C = \frac{c_1^2 \rho_{10}^0}{p_0} - 1 \quad (2)$$

Həmçinin səthi gərilmə ($\frac{2\sigma}{R}$ laplas təzyiqi) nəzərə alınaraq qabarcıqlı mayenin daha bir hal tənliyi verilmişdir. Ancaq bu halda nəzərə alınıb ki, daşıyıcı faza sıxılmayıdır:

$$\frac{p}{p_0} = \frac{\alpha_{20}(1+S)\rho/\rho_0}{1-\alpha_{10}\rho/\rho_0} - S \cdot \sqrt[3]{\frac{\alpha_{20}\rho/\rho_0}{1-\alpha_{10}\rho/\rho_0}}, \quad S = \frac{2\sigma}{R_0 p_0} \quad (3)$$

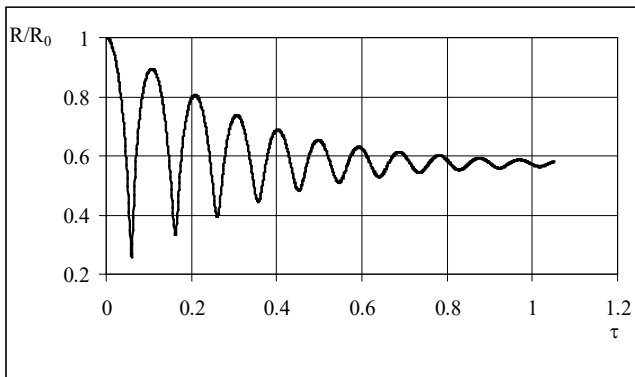
1.3. özlü mayedə qabarcığın dinamikasının tədqiqi üçün əsasın qoyulmasına xidmət edir.

Kapilyar effektlərin olması şərti daxilində Reley – Lamb tənliyi belə yazılır:

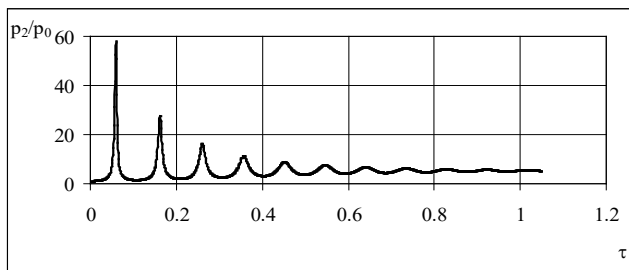
$$R\ddot{R} + \frac{3}{2}\dot{R}^2 = \frac{p_2 - p_c - 2\sigma/R}{\rho_{10}} - 4v_1 \frac{\dot{R}}{R}, \quad \frac{p_2}{p_0} = \left(\frac{R_0}{R}\right)^3 \quad (4)$$

$$t = 0: R = R_0, \quad \dot{R} = 0$$

Suyun içində başlanğıc radiusu 10 mkm olan qabarcıqdan uzaqda təzyiq sıçrayışla 1 atm.-dən 1,1 atm.-ə qədər artdıqda qabarcığın radiusu və qazın təzyiqinin zamandan asılılıqları 1 və 2 şəkillərində verilmişdir.



Şək. 1.

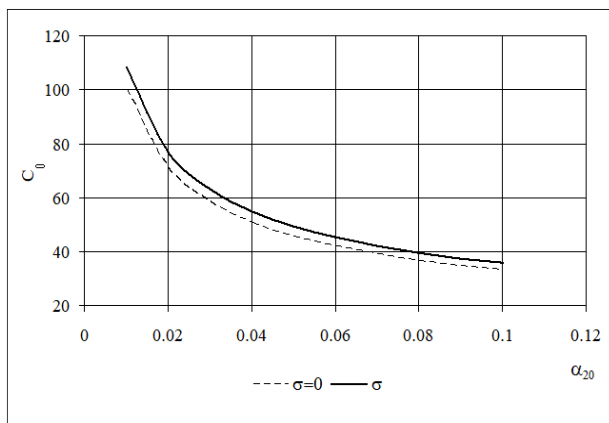


Şək. 2.

1.4.-də göstərilir ki, dənizdə səs dalğalarının sönməsi və udulması ancaq mayenin özlülüyü, istilik keçiriciliyi səbəbindən bitmir.

Qeyri-bircins mühitə malik dəniz suyunda səs dalğalarının udulmasına əsas qaz qabarcıqlarıdır. Bu udulma rezonanslı tezlikdə daha güclü baş verir.

$$\frac{\delta_p}{\delta_\rho} \approx \frac{p_0}{\rho_0} \cdot \frac{C_1^2 \rho_{10}^0 / p_0}{\alpha_{10} + \alpha_{20} C_1^2 \rho_{10}^0 / p_0} \quad \text{və ya} \quad C_0 = \sqrt{\frac{p_0}{\rho_0} \cdot \frac{C_1^2 \rho_{10}^0 / p_0}{\alpha_{10} + \alpha_{20} C_1^2 \rho_{10}^0 / p_0}}$$



Şək.3. Səsin sürətinin qazın həcm konsentrasiyasından asılılığı.

Hesablamalar göstərmişdir ki, səthi gərilmə təzyiqin artmasına, qarışıqın sıxlığının isə azalmasına və səsin sürətinin artmasına gətirib çıxarır. Qazın həcmi konsentrasiyası isə səs sürətinin azalmasına gətirir (Şək.3)

1.5.-də radiusu R_* -la işarə olunmuş qabarcığın ekvivalent xanasının ətrafındakı mayenin həcmi üzrə orta təzyiqin ifadəsi tapılmışdır:

$$p_1 = p_2 - \frac{2\sigma}{R} - 4\mu_1 \frac{\dot{R}}{R} - \rho_1^0 \left[(1 - \varphi_1) R \ddot{R} + \frac{3}{2} (1 - \varphi_2) \dot{R}^2 \right], \quad (5)$$

$$\varphi_1 = \frac{3}{2} \frac{\alpha_2^{1/3} - \alpha_2}{1 - \alpha_2}, \quad \varphi_2 = \frac{\alpha_2^{1/3} (\alpha_2 + 2) - 3\alpha_2}{1 - \alpha_2}, \quad \alpha_2 = \alpha_{20} \left(\frac{R}{R_0} \right)^3$$

R , P_2 məchullarını təyin etmək üçün mayedə həll olunmayan qaz qabarcıqlarının dinamikasını təsvir edən ikitemperaturlu, ikitəzyiqli modelin tənliklər sistemi ölçsüz formada yazılmışdır:

$$\frac{d\theta}{d\tau} = \frac{3\theta}{Y_1 P_2} \left[\gamma(1+S)G - (\gamma-1)P_2 \dot{Y}_1 \right], \quad \frac{dY_1}{d\tau} = Y_2, \quad \theta = T_2 / T_0 \quad (6)$$

$$\frac{dP_2}{d\tau} = \frac{3\gamma}{Y_1} \left[(1+S)G - P_2 \dot{Y}_1 \right], \quad P_c = p_c / p_0, \quad \tau = t / t_0, \quad (7)$$

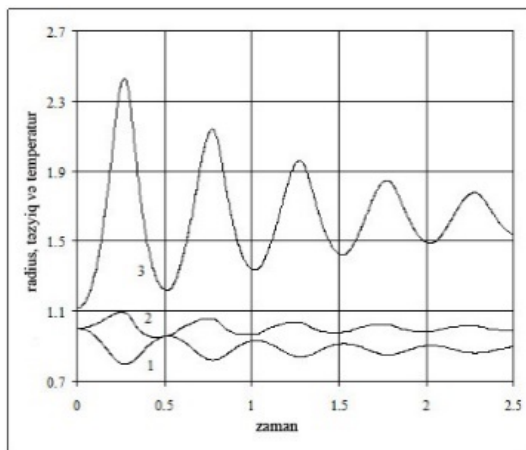
$$a_2 = \frac{\lambda_2}{\rho_{20} c_{p2}}, \quad Re_2 = \frac{R_0}{a_2} \sqrt{\frac{p_0}{\rho_1^0}}, \quad \gamma = c_{p2} / c_{v2}$$

$$\frac{dY_2}{d\tau} = -\frac{3}{2} \cdot \frac{Y_2^2}{Y_1} + \frac{P_2 - P_c - S / Y_1}{Y_1} \cdot P e_2^2 - L \cdot \frac{Y_2}{Y_1^2}, \quad (8)$$

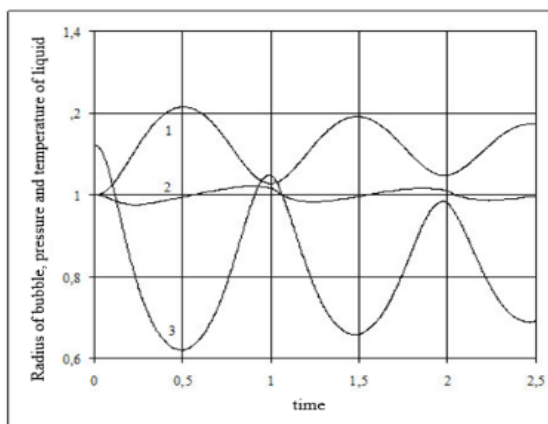
$$G = \text{sign}(1 - \theta) \cdot \sqrt{\frac{3(\gamma-1)\theta}{Y_1} \left| \dot{Y}_1 (1 - \theta) \right|}, \quad Y_1 = R / R_0, \quad P_2 = p_2 / p_0,$$

$$Y_2 = \dot{R} / u_0, \quad t_0 = R_0^2 / a_2, \quad S = 2\sigma / R_0 p_0, \quad L = 4\nu_1 / a_2, \quad u_0 = R_0 / t_0$$

$\tau = 0$ olduqda $\theta = 1$, $P_2 = 1 + S$, $Y_1 = 1$, $Y_2 = 0$

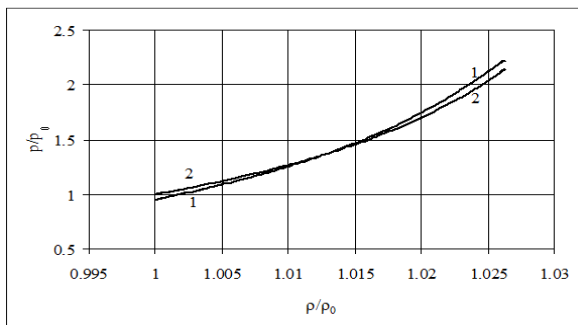


Şək. 4. Suda təzyiq $p_0 = 1 \text{ atm}$ -dan $p_c = 1,5 \text{ atm}$ -ə sıçrayışla artdıqda hava qabarcığının radius, təzyiq və temperaturunun zamandan asılılığı

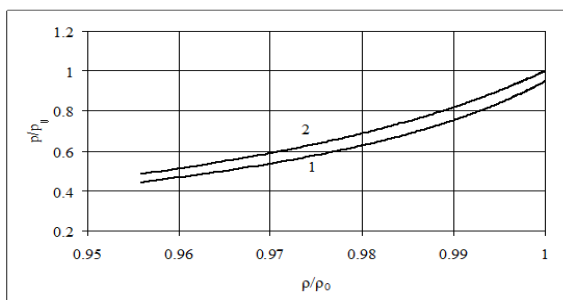


Şək. 5. Suda təzyiq $p_0 = 1 \text{ atm}$ -dan $p_c = 0,7 \text{ atm}$ -ə sıçrayışla azaldıqda hava qabarcığının radius, təzyiq və temperaturunun zamandan asılılığı

Şək. 4 – də və Şək. 5-də uyğun olaraq $T_0 = 293^0 K$ temperaturda təzyiq suda $p_0 = 1 atm$ -dən $p_0 = 1,5 atm$ -ə sıçrayışla artdıqda və təzyiq $p_0 = 1 atm$ -dən $p_0 = 0,7 atm$ -ə sıçrayışla azaldıqda hava qabarcığının radiusun, qabarcıqda təzyiqin və temperaturun zamandan asılılıqları verilmişdir. Burada 1 – radius, 2 - qazın temperaturu, 3 - havanın təzyiqidir.



Şək. 6.



Şək. 7.

Şək. 6-da və Şək. 7-də təklif olunan düsturlar əsasında hesablamalar nəticəsində alınan əyrilərin R.İ.Niqmatulinin təklif etdiyi hal tənlikləri ilə qurulmuş əyrilərlə müqayisələri göstərilmişdir.

Dissertasiyanın **ikinci fəsl**i “Qaz-maye qarışığının hal tənliklərinin gəmiçilik məsələlərinə tətbiqi” adlanmaqla dörd

yarımfasildən ibarətdir. Qaz-maye qarışığının hal tənliklərinin gəmiçilikdə aktual olan bəzi məsələlərinə tətbiqləri araşdırılmışdır.

2.1.-də Pade aproksimasiyasının barotrop hal tənliyinə tətbiqi araşdırılır. Bu yarımfasil qabarcıqlı mayenin hal tənliyinin müxtəlif formalarının Pade aproksimasiyasının tətbiqi ilə çıxarılmasına həsr olunmuşdur.

Qazın mayedəki həcmi konsentrasiyasının müxtəlif qiymətləri üçün qabarcıqlı qarışığın təzyiqinin su və qaz qabarcıqları qarışığının sıxlığından asılılığı verilmişdir.

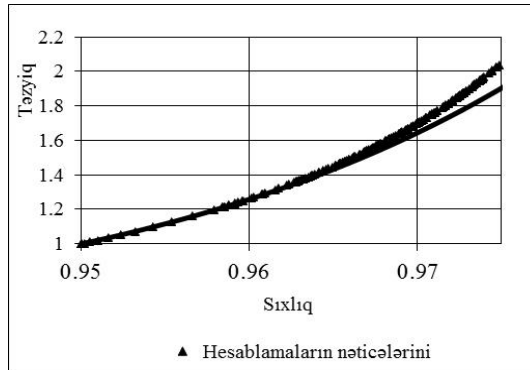
2.2.-də daşıyıcı fazanın sıxılma qabiliyyətlərini və səthi gərilməsini nəzərə almaqla qabarcıqlı mayenin eksponensial funksiya formasında hal tənliyinin çıxarılmasına həsr olunub. Mayenin hal tənliyinin qəbul edilmə şərti və etibarlılığı yoxlanılmışdır.

Məlum hal tənliyi analitik nəticələrin alınması üçün sadə olmadığından işdə təzyiqin sıxlıqdan asılılığı eksponensial funksiya və ya qüvvət sıraları şəklində təqdim olunur:

$$\frac{p}{p_0} = \frac{1}{2\alpha_{10}} \left\{ \alpha_{10} - \alpha_{20} + \exp \left[\frac{2\alpha_{10}}{\alpha_{20}} \left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1 \right) \right] \right\} \quad (9)$$

$$P = \frac{p}{p_0} = \frac{1}{\alpha_{10}\alpha_{20}^2} \left[\alpha_{10}^3 + (1 - 3\alpha_{10})\Re + \Re^2 \right], \quad \Re = \frac{\alpha_{10}\rho}{\rho_0} \quad (10)$$

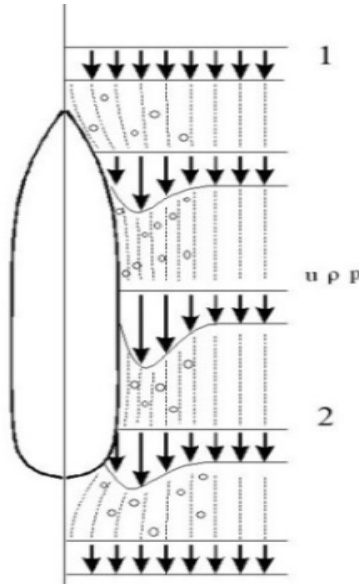
Baxılan bu modellərin köməyiylə hesablamaların nəticələri göstərmişdir ki, qazın müxtəlif həcm konsentrasiyasının və mayedə təzyiqin kəskin düşməsi zamanı təzyiqin sıxlıqdan asılılığı R.İ.Niqmatulinin qabarcıqlı mayenin hal tənliyi ilə yaxşı uyğunlaşır (Şək. 8).



Şək. 8. Sıçrayışla sıxlaşma halı $p_c = 1,5at$

2.3.-də gəmilərin anomal çökməsinin səbəbi haqqında hipotezi təsdiqləyən riyazi model təklif olunmuşdur.

Çökmə hadisələri mümkün olan dəniz rayonlarını müəyyən etmək və üzmənin təhlükəsizliyinin təmini üçün hesablamalar aparılmışdır.



Şək. 9. 1 və 2 kəsikləri arasında qabarcıqlı qarışıqın axını.

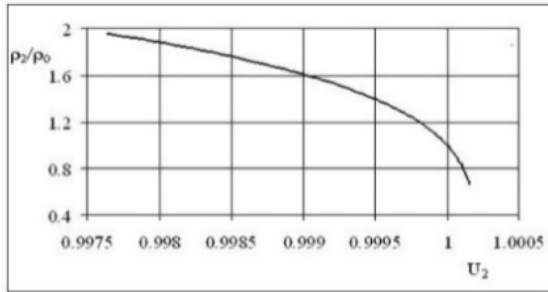
Mühitin 1 kəsiyindəki bütün parametrlərin qiymətlərini “1” indeksi ilə, ixtiyari aralıq kəsikdəkiləri isə “2” indeksi ilə işarə edək (şək. 9)

Burada U_2 ölçüsüz sürətin $\mathfrak{R}_2$ ölçüsüz sıxlıqdan asılılığı təyin edilir:

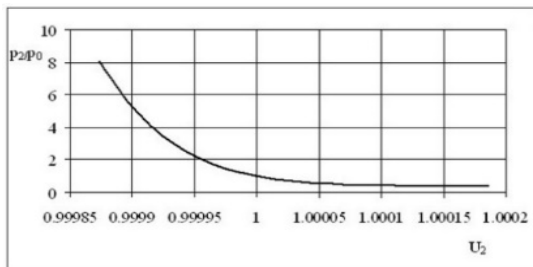
$$U_2 = \sqrt{\frac{2\alpha\gamma}{e^\alpha} \left(\ln\left(\frac{\mathfrak{R}_1}{\mathfrak{R}_2}\right) + \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{(\alpha\mathfrak{R}_1)^k}{k!k} - \frac{(\alpha\mathfrak{R}_2)^k}{k!k} \right] \right)} + U_1^2$$

Şək. 10 və Şək. 11-də qarışıqın $\mathfrak{R}_2$ sıxlığı və P_2 təzyiqinin U_2 axın sürətindən asılılığı verilib. Qazın həcm konsentrasiyası $\alpha_{20} = 0,1$ qəbul olunub.

Hesablamaların nəticələrinin müqayisəsi onu göstərir ki, səthi gərilmənin nəzərə alınması qaz-maye qarışığının gəminin gövdəsinin yanından axıb keçməsi sürətinin artması ilə sıxlığın azalması və təzyiqin düşməsi effektini əhəmiyyətli dərəcədə gücləndirir (Şək. 10, Şək. 11).



Şək. 10. Sıxlığın axın sürətindən asılılığı



Şək. 11. Təzyiqin axın sürətindən asılılığı

Hidravlika qanunları ilə yanaşı siklon və tropik qasırğaların əmələ gəlməsi də (xüsusən də Şimali Atlantika diqqəti çəkir) həmçinin təzyiqin aşağı düşməsinə kömək edir. Bu zaman suyun üst qatlarının alt qatlarına təzyiqi nəzərə çarpacaq dərəcədə azalır. Üst səthin intensiv əyilməsi boşluqların yaranması və suyun üzərində havanın sorulmasına gətirib çıxarır.

Təklif olunan model gəminin çökmə dərəcəsini və hərəkət edən gəminin ətrafında dənizin səthində əyilmənin yaranmasını nəzəri olaraq qiymətləndirməyə imkan verir.

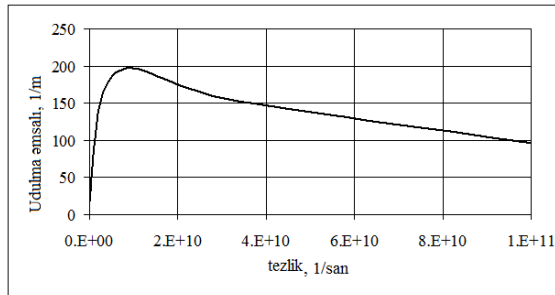
2.4.-də okeanda səsin sönməsi və yayılmasının əsas qanunauyğunluqları və bu qanunauyğunluqların fiziki interpretasiyası verilmişdir.

Mayedə qaz qabarcıqlarının səs dalğalarının udulmasına təsiri tədqiq edilir. Birölçülü hərəkətin kəsilməzlik tənliyi və okean suyunun hal tənliyi aşağıdakı formada yazılır:

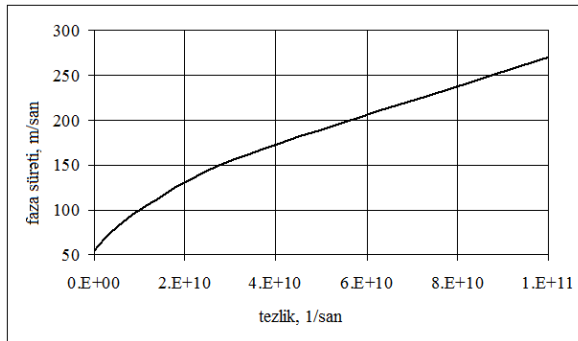
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} = 0, \quad \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial p}{\partial x} = 0$$

$$\frac{p}{p_0} = \frac{\alpha_{20}(1+S)\rho/\rho_0}{1-\alpha_{10}\rho/\rho_0} - S \cdot \sqrt[3]{\frac{\alpha_{20}\rho/\rho_0}{1-\alpha_{10}\rho/\rho_0}}, \quad S = \frac{2\sigma}{R_0 p_0}$$

Şək. 12 və Şək.13-də udulma əmsalı və faza sürətinin tezlikdən asılılığı verilmişdir. Qabarcıqların tarazlaşmış radiusu 10 mkm-ə, həcm konsentrasiyası isə 5%-ə bərabər qəbul olunub.



Şək. 12. Udulma əmsalının tezlikdən asılılığı



Şək. 13. Faza sürətinin tezlikdən asılılığı

Tədqiqatların analizi göstərmişdir ki, sönmə əmsalı klassik sönmə nəzəriyyəsinə uyğun olaraq özlülük əmsalının artması ilə artır.

Şək. 12 - dən göründüyü kimi, tezliklər üçün sönmə dekrementinin böyük qiymətlərinə görə "tutqunluq" diapazonu adlandırılan tipik diapazon mövcuddur. "Tutqunluq" diapazonunda dalğa daha da sürətlə sönməyə başlayacaq.

Üçüncü fəsil «Gəmi mühərriklərinin soyuducu mayelərinin effektivliyini artırmaq üçün nəzəri və eksperimental metodların işlənməsi» adlanmaqla səkkiz yarımfəsildən ibarətdir. Bu fəsildə dəniz gəmi mühərriklərinin etibarlılığının artırılması məqsədilə soyutma parametrlərinin təkmilləşdirilməsi üsullarına baxılmışdır. Dissertasiya işində həmçinin təsvir olunan proseslərin riyazi modelləşdirilməsi və qoyulan məsələlərin nəzəri həlli üsullarının işlənməsi verilmişdir. Zəruri binar məhlul almaq üçün eksperimentlərə qaçmadan təklif olunan modelin köməyi ilə məsələ həll olunur.

3.1.-də qaz qabarcıqlarının həyəcanlanmalarının ətrafdakı mayenin təzyiqinə təsiri araşdırılmışdır. Tədqiqat zamanı kavitasiyanın təsiri altında metalın dağılması problemləri araşdırılmışdır.

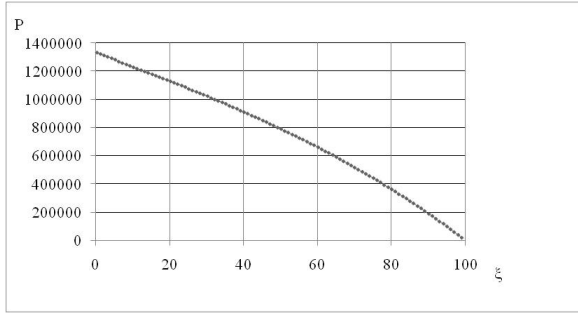
Mühərrikin effektiv fəaliyyəti o zaman təmin oluna bilər ki, soyuducu sistemin hissələri istifadə olunan mayelərin korroziyasına, ərpən bağlanmasına, təbəqələşməyə, köpüklənmənin yaranmasına və çöküntünün əmələ gəlməsinə daha dözümlü olsun.

3.2.-də mayenin özlülüyünün və səthi gərilməsinin qabarcıqların kollapsına(qapanmasına) təsiri araşdırılmışdır və riyazi model qurulmuşdur.

$\tau = R/R_0 = 0,01$ olduqda $\alpha_{20} = 0,05$ həcm faizli qaz-maye qarışığının qabarcıqlarının kollapsı anında ətrafındakı təzyiqin təsvirinin profili aşağıdakı şəkildə tapılmışdır.

$$\frac{p-p_0}{\Delta p} = P = \left(\Sigma - L \sqrt{\frac{1}{\tau^3} - 1} \right) \frac{1}{\tau} + \frac{1}{\tau^3} \left[\tau^3 - \tau \xi + \frac{\tau \xi}{3} (1 - \tau^3) (4 - \tau^3 \xi^3) \right]$$

$$\Sigma = \frac{2\sigma}{R_0 \Delta p}, \quad L = \frac{4\nu}{R_0} \sqrt{\frac{2\rho_1^0}{3\Delta p}}, \quad \nu = \frac{\mu}{\rho_1^0}, \quad \Delta p = p_* - p_0, \quad \sqrt[3]{\alpha_{20}} \leq \xi \leq 1/\tau$$



Şəkil 14. Kollaps zamanında qabarcıqların ətrafındakı təzyiqin profili.

Nəticələr göstərir ki, kollaps anında qabarcığın ətrafındakı təzyiq yüksək olsa da, səthi gərilmə maye təzyiqinin qiymətinin azalmasına gətirib çıxarır.

3.3.-də soyuducu mayelərin mövcud alınma üsullarına baxılmışdır. Burada qliserin, metanol, etanol, toluol və s. suda məhlulları üçün aparılan hesablamalar, habelə onların məlum eksperimental məlumatlarla müqayisəsi istilik və kütlə mübadiləsi proseslərinin əhəmiyyətli ləngiməsi və ya dayanması effektinin nəzəri proqnozlaşdırılması məsələləri araşdırılmışdır.

3.4-də texnikada istifadə olunan soyuducu mayelərin istilik daşıyıcılarına uyğun kimyəvi tərkibi və xüsusi işlənməsilə təmin olunmalarına baxılmışdır.

Analizlərin əsasında gəmilərin DYM-nin istismar göstəricilərinə daha böyük təsir göstərən soyutmanın konstruktiv, rejim və su-kimyəvi parametrlərinin cəmi müəyyənləşdirilir.

3.5.-də qeyd olunan proseslərin riyazi modelləşməsi, qoyulan məsələlərin nəzəri həll üsullarının işlənməsi verilir. Zəruri binar məhlul almaq üçün eksperimentlərə qaçmadan təklif olunan modeldən alınan nəticələrinin köməyiylə məsələ optimal həll olunur.

$$\frac{\partial T_l}{\partial t} + w_l \frac{R^2}{r^2} \frac{\partial T_l}{\partial r} = \frac{a_l}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T_l}{\partial r} \right) \quad (11)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + w_l \frac{R^2}{r^2} \frac{\partial k}{\partial r} = \frac{D_l}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial k}{\partial r} \right) \quad (12)$$

$$R \dot{w}_l + \frac{3}{2} w_l^2 = \frac{p_{v1} + p_{v2} - p_{\infty} - 2\sigma / R}{\rho_l} - 4\nu_1 \frac{w_l}{R} \quad (13)$$

$$j_i = \rho_i \left(\dot{R} - w_l - w_i \right) \quad (14)$$

$$\rho_{l1} w_1 = -\rho_{l2} w_2 = -\rho_l D_l \left. \frac{\partial k}{\partial r} \right|_R$$

$$\dot{R} = w_l + \frac{j_1 + j_2}{\rho_l} \quad (15)$$

$$k_R j_2 - (1 - k_R) j_1 = -\rho_l D_l \left. \frac{\partial k}{\partial r} \right|_R \quad (16)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{4}{3} \pi R^3 \rho_{vi} \right) = 4\pi R^2 j_i \quad (17)$$

$$p_{v1} = p_{S1}(T_v) N_1(k_R), \quad p_{v2} = p_{S2}(T_v) [1 - N_1(k_R)] \quad (18)$$

$$p_{vi} = B T_v \rho_{vi} / \mu_i \quad (19)$$

$$\frac{dp_{Si}}{dT_v} = \frac{l_i \rho_{vi}}{T_v} = \frac{l_i \mu_i}{B T_v} \frac{p_{Si}}{T_v}, \quad (i = 1, 2) \quad (20)$$

$$\rho_{l1} + \rho_{l2} = \rho_l \quad k_1 = k = \rho_{l1} / \rho_l, \quad k_2 = \rho_{l2} / \rho_l = 1 - k, \quad k_1 + k_2 = 1$$

$$N_1(k_R) = \frac{\mu_2 k_R}{\mu_2 k_R + \mu_1 (1 - k_R)}$$

harada ki, p_{v1} və p_{v2} – qabarcıqda buxarın komponentlərinin təzyiqləri, p_∞ – qabarcıqdan uzaqda mayenin təzyiqi, σ və ν_1 – mayenin səthi gərilmə əmsalı və kinematik özlülüyüdür, T_l – mayenin temperaturu, w_l – qabarcığın səthində mayenin radial sürəti, $a_l = \frac{\lambda_l}{\rho_l c_l}$ – mayenin temperatur keçiriciliyi, D_l – diffuziya əmsalındır, w_i – qabarcığın səthində komponentlərin diffuziya sürətidir, k_R – fazaların ayrılma səthindəki birinci komponentin konsentrasiyasıdır, T_v – buxarın temperaturu, ρ_{vi} – qabarcıqda buxar qarışığının komponentlərinin sıxlıqları, μ_i – qarışığı təşkil edən mayelərin molekulyar çəki, p_{Si} – doyma təzyiqi.

$$N_{k_0} = \mu k_0 / (\mu k_0 + 1 - k_0), \quad N_{c_0} = \mu c_0 / (\mu k_0 + 1 - c_0), \quad \mu = \mu_2 / \mu_1,$$

3.6. və 3.7.-də periodik həyəcanlanmalar yayıldıqda binar məhlulda istilik-kütlə mübadiləsi araşdırılır.

(11) – (20) tənliklər sisteminin həllini aşağıdakı kompleks ifadənin həqiqi hissəsi kimi axtarılır:

$$\varphi = 1 + \varphi^0 \exp(i\Omega_* \tau), \quad J_i = J_i^0 \exp(i\Omega_* \tau), \quad W = W^0 \exp(i\Omega_* \tau)$$

burada $\Omega_* = \Omega + i\Omega_{**}$. Ω_{**} – zamana nəzərən sönən rəqslərin dekrementidir. $\Omega_{**} > 0$ olduqda bu tipli həll özünü sərbəst zamana nəzərən sönən eksponensial həyəcanlanmalar kimi aparır.

Loqarifmik sönmə dekrementi $T = 2\pi / \Omega$ periodunda zamana görə geri qalan amplitudun $A(\tau)$ münasibətinə bərabərdir:

$$\Lambda = \ln \frac{A(\tau)}{A(\tau + T)} = \ln e^{\Omega_{**} T} = 2\pi \frac{\Omega_{**}}{\Omega} \quad (21)$$

Ω_* -a nəzərən xarakteristik tənlik alınmış və analizi aparılmışdır:

$$\left(i\Omega_* + \frac{1}{\text{Re}}\right)(i\Omega_* - \Psi_3 - \Psi_4) = \beta \left[(\alpha_1 + \alpha_2 L \mu) S_3 \Psi_1 + \left(\frac{\alpha_1}{k_0 \mu^2} - \frac{\alpha_2}{(1 - k_0) \mu} \right) N_{10} \Psi_2 + \Sigma \right]$$

3.8.-də isə konkret binar məhlullar üçün (21) tənliyinin köməyi ilə hesablamaların nəticələri verilmişdir.

Bir çox hallarda məhlullar həm istiyə həm də şaxtaya davamlı olmalıdırlar, daha doğrusu, donmamalıdırlar. Mexaniklərin diliylə desək, bu o deməkdir ki, maye fazaların minimal keçid (qaynama, donma) sürətinə malik olmalıdır. Belə binar məhlulun komponentlərinin tərkib və konsentrasiyasını təcrübədən keçmiş üsullarla seçirlər. Tərkibin növünü elə dəyişirlər ki, faza çevrilmələrinin sürəti minimal olsun. Bunun üçün çoxlu vaxt, böyük miqdarda reagent sərfi və bahalı cihazlar istifadə olunur.

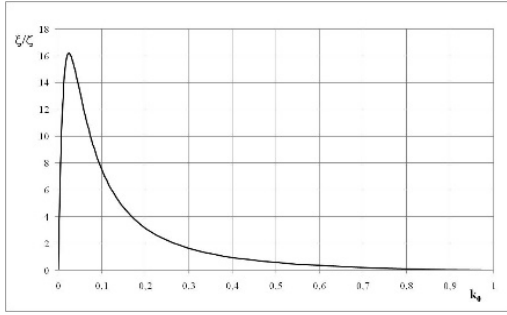
Məsələ bununla həll olunur ki, minimum qaynama sürəti olan qarışıqın alınması üsulunda binar məhlulun tərkibi və onun komponentlərinin konsentrasiyası bu məhlulun qabarcıqlarının dinamikasına istilik və kütlə mübadiləsinin nisbi təsirini səciyyələndirən $\frac{\xi}{\varsigma}(k_0)$ parametrinin maksimum qiymətinin əldə olunmasından və $\frac{\xi}{\varsigma}(k_0) \gg 1$ şərtindən seçilir. Burada

Şək. 15-də su və etilenqlikol qarışığı üçün $\xi/\varsigma(k_0)$ funksiyasının k_0 -dan asılılığı göstərilmişdir.

$$\xi = \frac{S_{12}}{\mu \eta} \cdot \frac{(1 - \chi_2^0)(\chi_1^0 - 1)[1 - \chi_2^0 + \mu(\chi_1^0 - 1)][1 - \chi_2^0 + c_{121}\mu(\chi_1^0 - 1)]}{[1 - \chi_2^0 + L\mu(\chi_1^0 - 1)][\chi_1^0(1 - \chi_2^0) + \mu\chi_2^0(\chi_1^0 - 1)]}, \quad (22)$$

$$S_{12} = c_{11}T_0/l_1, \quad c_{121} = c_{12}/c_{11},$$

$$\zeta = \frac{S_3 Le}{\eta} \cdot \frac{[\chi_1^0(1 - \chi_2^0) + L\mu\chi_2^0(\chi_1^0 - 1)]^2 [1 - \chi_2^0 + \mu(\chi_1^0 - 1)]}{(\chi_1^0 - \chi_2^0)[1 - \chi_2^0 + L\mu(\chi_1^0 - 1)][\chi_1^0(1 - \chi_2^0) + \mu\chi_2^0(\chi_1^0 - 1)]}$$



Şək. 15. ξ/ζ parametrinin qarışıqın k_0 konsentrasiyasından asılılığı.

Şəkildən görünür ki, ξ/ζ asılılığı konsentrasiyanın $k_0 \leq 0,4$ diapazonunun da vahidi keçir, belə ki, suyun $k_0 \approx 0,03$ həcmi konsentrasiyasına uyğun qiymətində aydın görünən maksimum hal alır. Beləliklə, belə məhlul minimal qaynama qabiliyyətinə malik olacaq.

Ümumiyyətlə, belə məhlul minimal sürət və kondensasiya xüsusiyyətinə malikdir. Binar məhlulun (binar məhlulu təşkil edən mayelər) tərkibi və komponentlərin konsentrasiyasını bu məhlulun istilik mübadiləsi və kütlə mübadiləsinin qabarcıqlarının dinamikasına təsirini xarakterizə edən ξ/ζ parametrlərinin maksimal qiymətini əldə etmək və $\xi/\zeta \gg 1$ şərtindən seçmək lazımdır.

NƏTİCƏ VƏ TƏKLİFLƏR

1. Qaz-maye qarışığının kəsir şəklində çıxarılmış hal tənliyindən fərqli olaraq analitik tədqiqatlar aparmaq üçün istifadə etməyə imkan verən qüvvət və eksponensial funksiyalar şəklində yeni hal tənlikləri alınmışdır.
2. Qabarcıqlı mayedə səsin yayılma və sönməsinin əsas qanunauyğunluqları tədqiq olunmuş və fiziki interpretasiyası verilmişdir.
3. Qaz qabarcıqlarının mayedə mövcudluğu səbəbindən gəminin ətrafındakı su axınının sürətinin artması zamanı mayenin təzyiqinin əhəmiyyətli dərəcədə enməsi, sıxlığının isə azalması nəzəri və təcrübi olaraq təsdiqlənmişdir.
4. Gəminin çökməsi və hərəkət edən gəminin ətrafında dəniz səthinin əyilmə dərəcəsini nəzəri olaraq qiymətləndirməyə imkan verən model təklif olunmuşdur.
5. Zərbə dalğasının təsirindən avarlı vintin və gəminin gövdəsinin qorunması üçün vibrasiyaları azaltmağa imkan verən hesablanma üsulu alınmışdır.
6. Gəminin daxiliyanma mühərrikləri üçün optimal xüsusiyyətlərə malik binar soyuducu mayenin alınması üsulunun riyazi və praktiki əsasları işlənilmişdir.

Dissertasiyanın əsas nəticələrinin əks olunduğu məqalə və tezislər

1. Nağıyev, F.B., Axundova, G.A. Qabarcıqlı suda hərəkəti zamanı gəminin anomal çökməsi // - Bakı: Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi Əsərləri, - 2014. № 2, - s.112-117
2. Nağıyev, F.B., Axundova, G.A. Bermud üçbucağına aid bir hipotezin elmi təsdiqi // “Mexanikanın klassik və müasir problemləri” adlı, Azərbaycanın görkəmli alimi, AMEA-nın müxbir üzvü, prof. Yusif Əmənoğlu Əmənzadənin anadan olmasının 100 illik yubileyinə həsr olunmuş Respublika elmi konfransının materialları, - Bakı -22 may, -2014, - s. 247-251.
3. Ахундова, Г.А. О кавитационной коррозии судового двигателя // «Актуальные проблемы экономики и управления на транспорте» 13-я Всероссийская межвузовская (5-й международный) научно-практическая конференция, - Владивосток: -22мая, - 2015, - с. 47-48.
4. Ахундова, Г.А. Об уравнениях состояния пузырьковой жидкости // – Bakı: - Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi Əsərləri, - 2015. -№ 2, -s. 213-215.
5. Ахундова, Г.А. Исследование поглощения интенсивности акустической волны в океане // - Санкт-Петербург: - Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О.Макарова, ГУМРФ,-2015. -№ 3,-s.36-41
6. Нагиев, Ф.Б., Ахундова, Г.А. Некоторые задачи гидродинамики судна: / Ф.Б.Нагиев, Г.А.Ахундова.– Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing,- 2015.-156 с
7. Akhundova, G.A. The verifying authenticity and condition of applicability of the state of bubble liquid.//Transactions of ANAS, issue mathematics and mechanics, series of physical-technical & mathematical science, -2015. v.XXXV, №1, -p.109-113.
8. Nagiyev, F.B., Ismayilov, Z.O., Akhundova, G.A. Methods of system analysis in problems of navigation. // Transactions of

- ANAS, issue mechanics series of physical-technical & mathematical science, -2015. v.XXXV, №7, -p. 58-67.
9. Nagiyev, F.B. Akhundova, G.A. A theoretical method of producing the coolant for marine engines.// Journal of Maritime Transport and Engeneering, Tallinn University of Technology Estonian Maritime Academy, -2015. v.4, №1, -s.54-66.
 10. Ахундова, Г.А. Скорость звуковых волн в морской воде//“Dəniz nəqliyyatında innovativ texnologiyalar” XI Beynəlxalq elmi-texniki konfransının məruzə materialları, – Bakı: - 2016, -s.127-130.
 11. Nağıyev, F.B., Axundova, G.A. Qaz-maye mühitin mexanikasinin bəzi məsələləri.// - Bakı: Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi Əsərləri, -2016. № 2 -s. 255-260.
 12. Nağıyev, F.B., Axundova, G.A. Динамика жидкостей в нанотрубках // - Bakı: Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi Əsərləri, - 2017. №1, -s. 103-113.
 13. Ахундова, Г.А. Flow Dynamics Caused by the Sudden Water Discharge Into the River // Проблемы безопасности на транспорте, Материалы VIII международной научно-практической конференции, посвященной году науки, - Гомель: -2017, -с.202-204.
 14. Нагиев, Ф.Б., Ахундова, Г.А. Обеспечение безопасности судоходства при внезапном повышении уровня воды в реках.// - Bakı: Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi Əsərləri, -2017. № 2(26) -s. 223-230.
 15. Akhundova, G.A. Veracity and Satisfiability Condition of State Equation of Bubble Liquid.//Proceeding of 3rd International E-Conference on Mathematical Advances and Applications (ICOMAA-2020), Conference Proceeding Science and Technology. -2020, 3(1), p. 63–67
 16. Axundova, G.A. Gəmilərdə istifadə olunan materialların korroziyasının kavitasiya məsələləri // -Bakı: Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi Əsərləri, - 2020. №1(31), -s. 183-190.

Dissertasiyanın müdafiəsi «07» yanvar 2022-ci il tarixində, saat 14⁰⁰-da AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən BFD.03 Birdəfəlik Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1141, Bakı, B.Vahabzadə küçəsi, 9.

Dissertasiya ilə AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun elmi kitabxanasında tanış olmaq mümkündür

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir

Avtoreferat «06» dekabr 2021-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 03.12.2021

Kağızın formatı: A5

Həcm: 37461

Tiraj: 100