

GƏMİÇİLİKDƏ TƏBİƏT ELMLƏRİNİN PROBLEMLƏRİ

UOT 532.533

GƏMİLƏRDƏ İSTİFADƏ OLUNAN MATERIALLARIN KORROZİYASININ KAVİTASIYA MƏSƏLƏLƏRİ

Axundova G.A.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: gulakhundova@gmail.com

Xülasə. Məqalədə gəmilərdə istifadə olunan materialların mümkün olan kavitasiya-korroziya dağılmalarına aid tədqiqatların bəzi nəticələri göstərilmişdir. Gəmi mühərrikinin soyutma sistemlərinin korroziya-eroziya dağılmalarının və ərp bağlamanın xüsusiyyətlərinin qarşısının alınması mühərrikin etibarlılığının və xidmət müddətinin artmasını təmin edir.

Qabarcığın radiusunun qiymətinin müxtəlif qiymətləri üçün mayenin $\alpha_{20} = 0,05$ həcm faizli qaz-mayə qarışığının qabarcıqlarının kollapsı anında ətrafındakı təzyiqin təsvirinin profili qrafik nəticələrlə göstərilib. Qabarcığın ətrafındakı mayenin təzyiqinin kollaps müddətinin müxtəlif anlarından asılılığı verilib. Göstərilib ki, qabarcıqların kollapsı müddətində təzyiq sürətlə artır.

Аннотация. В статье представлены некоторые результаты теоретических исследований, посвященных изучению возможности кавитационно-коррозионных разрушений металлических материалов судна. Предотвращение коррозионно-эрозионных разрушений и накипеобразования, характерных для систем охлаждения двигателя судна, обеспечивает повышение надежности двигателей и увеличение их ресурса.

Приведены графические результаты, иллюстрирующие профиль давления вокруг схлопывающегося пузырька газожидкостной смеси объемным газосодержанием $\alpha_{20} = 0,05$ для различных значений радиуса пузырька. Приведена зависимость давления жидкости от времени около схлопывающегося пузырька. Показывается, что по мере схлопывания пузырька давление стремительно возрастает.

Abstract. The article presents some results of theoretical studies devoted to the study of the possibility of cavitation-corrosion destruction of metallic materials, ships. Prevention of corrosion and erosion damage and scale formation characteristic of ship engine cooling systems provides an increase in the reliability of engines and an increase in their service life.

Graphical results illustrating the pressure profile around a collapsing bubble of a gas-liquid mixture by volumetric gas content for various values $\alpha_{20} = 0,05$ and for different values of the radius of the bubble are presented. The dependence of fluid pressure on time near a collapsing bubble is given. It is shown that as the bubble collapses, the pressure increases rapidly.

Açar sözlər: kavitasiya, korroziya, qabarcıq, kollaps, təzyiq, zaman, dəniz gəmisi

Ключевые слова: кавитация, коррозия, коллапс, пузырек, давление, время, морское судно

Key words: cavitation, corrosion, bubble, collapse, pressure, time, ship

Giriş. Soyutma sistemlərinin təkmilləşdirilməsi məsələsi əsasən mühərriklər və silindr oymaqlarının soyutma köynəyində kavitasiya hadisələrinin yaranma ehtimalının artması ilə əlaqədar yüksək dövrü mühərriklər üçün aktualdır.

Metalın dağılmasının səbəbi həmçinin kavitasiya korroziyası da ola bilər. Sistemdə korroziya adətən vibrasiya və ya suyun turbulent axını ilə əlaqədar olur. Bu nəticəyə səbəb olan hadisə

korroziya kimi görünür. Bundan əlavə, korroziya sistemdə metal səthlərdə buxar qabarcıqları əmələ gətirən yüksək və aşağı təzyiqli dalğaların nəticəsidir.

Gəmi mühərriklərinin gövdəsini dağdan əsas faktorlardan biri kavitasiya eroziyası olduğundan, aşqarın tərkibinə bu prosesi inhibisiya edən maddə daxil etmək zəruridir. Soyuducu maye mühərrikin soyutma sisteminin hazırlandığı hissələri korroziyaya uğratmadıqda, uzun müddət ərzində ərp bağlama, təbəqələrə ayrılma, köpüklənmə və çöküntü yaranmadığı hallarda mühərrikin effektiv işi təmin oluna bilər.

Məsələnin qoyuluşu. Hal-hazırda kavitasiya boşluqlarının yerdəyişməsinin, diffuziya effektlərinin, qonşu boşluqların və sərhəd bölgələrinin mövcudluğu nəzərə alınmaqla kavitasiya boşluqlarının dinamikasının tədqiqat istiqamətinin intensiv inkişafı davam edir.

Kavitasiya sistemdəki metal səthlərdə buxar qabarcıqları yaranan yüksək və alçaq təzyiqli dalğaların nəticəsidir.

Bu qabarcıqlar genişlənə bilərlər, sonra isə metal səthdə yüksək təzyiqin yaranması ilə çox sürətli templə partlaya bilərlər. Nəticədə oksiddən qoruyucu təbəqə ayrılır və metal yeyilib dağılır. Bu rejim qabarcıqların partlamasının inersiyalı rejimi adlanır. Bu rejimi nəzəri olaraq təsvir edək.

Inersiyalı rejimdə mayenin səthi gərilməsinə və özlülüyünü nəzərə almasaq qabarcıqların partlama prosesi ancaq mayenin radial hərəkət inersiyası ilə müəyyən olunur və aşağıdakı kimi yazılan Reley-Lamb tənliyi ilə təsvir olunur [1, s. 505]:

$$R\ddot{R} + \frac{3}{2}\dot{R}^2 = \frac{\Delta p}{\rho_1^0} \quad \Delta p = p_0 - p_\infty \quad (1)$$

Burada $R(t)$ və R_0 – qabarcığın cari və başlanğıc radiusları, p_0 və p_∞ – başlanğıc təzyiq və mayenin qabarcıqdan uzaqda olan təzyiqi, ρ_1^0 – mayenin sıxlığıdır.

Başlanğıc şərtlər aşağıdakı kimi verilir:

$$t = 0: R = R_0, \quad \dot{R} = 0 \quad (2)$$

(1) tənliyinin birinci inteqralı aşağıdakı kimi hesablanı bilər:

$$R\ddot{R} + \frac{3}{2}\dot{R}^2 = \frac{1}{2R^2} \frac{d}{dt} \left(R^3 \dot{R}^2 \right)$$

Buradan da alarıq:

$$\frac{d}{dt} \left(R^3 \dot{R}^2 \right) = 2R^2 \dot{R} \frac{\Delta p}{\rho_1^0} = 2R^2 \frac{\Delta p}{\rho_1^0} \frac{dR}{dt}$$

Beləliklə,

$$\int_{R_0}^R d \left(R^3 \dot{R}^2 \right) = \frac{2\Delta p}{\rho_1^0} \int_{R_0}^R R^2 dR \quad (3)$$

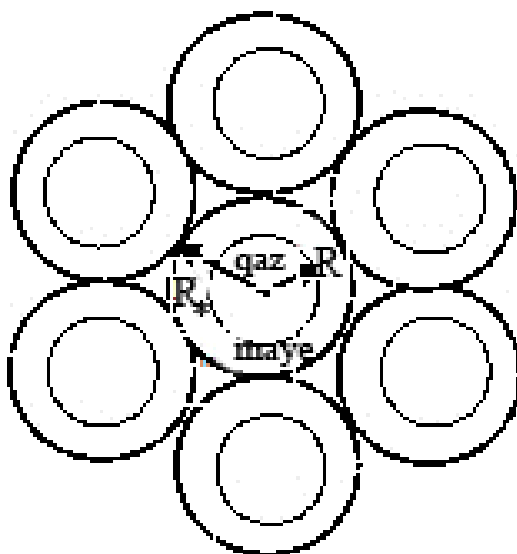
(2) başlanğıc şərtlərini istifadə edərək son olaraq alarıq:

$$\dot{R} = -\sqrt{\frac{2}{3} \frac{\Delta p}{\rho_1^0} \left(1 - \frac{R_0^3}{R^3}\right)}, \quad \ddot{R} = \frac{\Delta p}{\rho_1^0} \frac{R_0^3}{R^4} \quad (4)$$

(4) tənliyində $\Delta p < 0$ və $R < R_0$ $\left(R \rightarrow 0, \dot{R} \rightarrow \infty\right)$.

Əgər α_2 və α_{20} ilə qazın cari və başlanğıc həcm faizini işarə etsək, onda:

$$\alpha_2 = \frac{V_{qaz}}{V_{qazış}} = \left(\frac{R}{R_*}\right)^3 = \alpha_{20} \left(\frac{R}{R_0}\right)^3, \quad \alpha_{20} = \left(\frac{R_0}{R_*}\right)^3 \quad (5)$$



Şəkl. 1. Ekvivalent xana

Burada R_* ilə qabarcığın ətrafındakı ekvivalent xananın radiusu işarə olunub [2, s. 109], onda maye xanasının orta həcmi üzrə təzyiqinin qiyməti üçün ifadə almaq olar. Bunun üçün (r, t) sferik Eyler koordinat sistemində hərəkət və kəsilməzlik tənliyini mayenin sıxılmazlıq ifadəsində yazmaq:

$$\rho_1^0 \left(\frac{\partial v_l}{\partial t} + v_l \frac{\partial v_l}{\partial r} \right) = -\frac{\partial p}{\partial r}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial r} (r^2 v_l) = 0, \quad (7)$$

Sərhəd şərtlərini nəzərə alaraq (7)-ni integrallasaq $R = R(t)$ $v_l|_{r=R(t)} = \dot{R}(t)$ olduqda alarıq:

$$v_l = \dot{R} \frac{R^2}{r^2}, \quad \frac{\partial v_l}{\partial t} = \frac{2R\dot{R}^2 + R^2\ddot{R}}{r^2}, \quad \frac{\partial v_l}{\partial r} = -2\frac{\dot{R}R^2}{r^3}, \quad v_l \frac{\partial v_l}{\partial r} = -2\frac{R^4\dot{R}^2}{r^5} \quad (8)$$

(8) münasibətini (6)-da yerinə qoysaq alarıq:

$$-\frac{1}{\rho_1^0} \frac{\partial p}{\partial r} = \frac{R}{r^2} \left(R \ddot{R} + 2 \dot{R}^2 \right) - 2 \frac{R^4}{r^5} \dot{R}^2 \quad (9)$$

(9)-u $r = R(t)$ -dən r -ə qədər integrallasaq və hesab etsək ki, $r = R(t)$ olduqda $p = p_0$ olur, onda qabarcığın ətrafında təzyiqin paylanması təsvir edən düsturu alarıq:

$$p = p_0 + \rho_1^0 \left\{ R \ddot{R} \left(\frac{R}{r} - 1 \right) + \frac{\dot{R}^2}{2} \left[1 - \frac{R^4}{r^4} + 4 \left(\frac{R}{r} - 1 \right) \right] \right\}, \quad R(t) \leq r < R_* \quad (10)$$

Mayenin orta həcmli xanalarının təzyiqi aşağıdakı münasibətlə təyin olunur:

$$\langle p \rangle(t) = \int_R^{R_*} \frac{4\pi p r^2 dr}{\frac{4}{3}\pi(R_*^3 - R^3)} = \frac{3}{(1 - \alpha_2)R_*^3} \int_R^{R_*} p r^2 dr \quad (11)$$

Burada nəzərə alınıb ki, r və $r + dr$ -ə uyğun olaraq bərabər olan sferaların radiusları arasındakı mayenin elementar dV həcmi

$$dV = \frac{4}{3}\pi[(r + dr)^3 - r^3] \approx 4\pi r^2 dr,$$

xanada qapalı olan maye həcmi isə $\frac{4}{3}\pi(R_*^3 - R^3)$ ifadəsinə bərabərdir.

(10)-dan istifadə edib (11) düsturunu integrallayaq:

$$\begin{aligned} \int_R^{R_*} p r^2 dr &= p_0 \frac{R_*^3}{3} (1 - \alpha_2) + \\ &+ \rho_1^0 \left\{ \frac{R^2 \ddot{R}}{2} (R_*^2 - R^2) - \frac{R \ddot{R}}{3} (R_*^3 - R^3) + \frac{\dot{R}^2}{2} \left[- (R_*^3 - R^3) - R^4 \left(\frac{1}{R_*} - \frac{1}{R} \right) + 2R(R_*^2 - R^2) \right] \right\} = \\ &= \frac{R_*^3}{3} (1 - \alpha_2) \langle p \rangle(t) \end{aligned}$$

Buradan alınır ki,

$$\langle p \rangle = p_0 - \rho_1^0 \left[(1 - \varphi_1) R \ddot{R} + \frac{3}{2} (1 - \varphi_2) \dot{R}^2 \right], \quad (12)$$

$$\varphi_1 = \frac{3}{2} \frac{\alpha_2^{1/3} - \alpha_2}{1 - \alpha_2}, \quad \varphi_2 = \frac{\alpha_2^{1/3}(\alpha_2 + 2) - 3\alpha_2}{1 - \alpha_2}$$

Alınmış nəticələrin analizi. Mayedə təzyiqin paylanması epürünü qurmaq üçün (10) düsturuna əsasən qabarcıqların kollaps müddətinin müxtəlif anlarında və ya elə $\tau = R/R_0$ -nün müxtəlif qiymətlərində (4) münasibətindən istifadə edirik.

Əgər $\xi = R_0/r$ işarə etsək ξ ədədi $R_0/R_* \leq \xi \leq R_0/R$ və ya $\sqrt[3]{\alpha_{20}} \leq \xi \leq 1/\tau$ aralığında dəyişəcək. Onda (10) düsturu aşağıdakı formaya düşəcək:

$$\frac{p - p_0}{p_* - p_0} = P = \frac{1}{\tau^3} \left[\tau^3 - \tau\xi + \frac{\tau\xi}{3} (1 - \tau^3)(4 - \tau^3\xi^3) \right], \quad \sqrt[3]{\alpha_{20}} \leq \xi \leq 1/\tau \quad (13)$$

Burada belə hesab edilir ki, $R = R_*$, $p = p_*$, daha doğrusu, sonsuzluq şərti xananın sərhəddinə gətirilir.

Şək. 2-də $\tau = R/R_0 = 1$, $\tau = R/R_0 = 0,8$, $\tau = R/R_0 = 0,6$, $\tau = R/R_0 = 0,4$, $\tau = R/R_0 = 0,2$, $\tau = R/R_0 = 0,1$, $\tau = R/R_0 = 0,01$. $\sqrt[3]{\alpha_{20}} \leq \xi \leq 1/\tau$ olduqda qabarcığın radiusunun ölçüsüz qiymətinin müxtəlif qiymətləri üçün mayenin $\alpha_{20} = 0,05$ həcm faizli qaz-maye qarışığının qabarcıqlarının kollapsı anında ətrafındakı təzyiqin təsvirinin profili (10) düsturunun əsasında çıxarılan nəticələrlə göstərilir.

Zamanın başlanğıc anında $\tau = 1$ olur, $R = R_0$ olduqda qabarcığın səthində $\xi = 1/\tau = 1$, $P = 0$ və ya $p = p_0$, qabarcığın sərhəddində isə $\xi = \sqrt[3]{\alpha_{20}}$, $P = 1 - \sqrt[3]{\alpha_{20}}$. Təzyiqin profili xətti xarakter daşıyır.

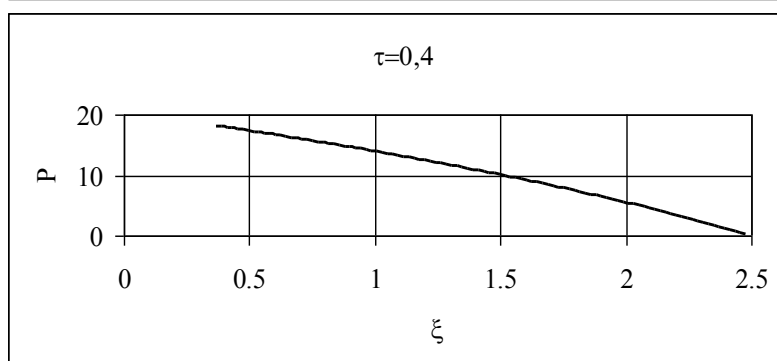
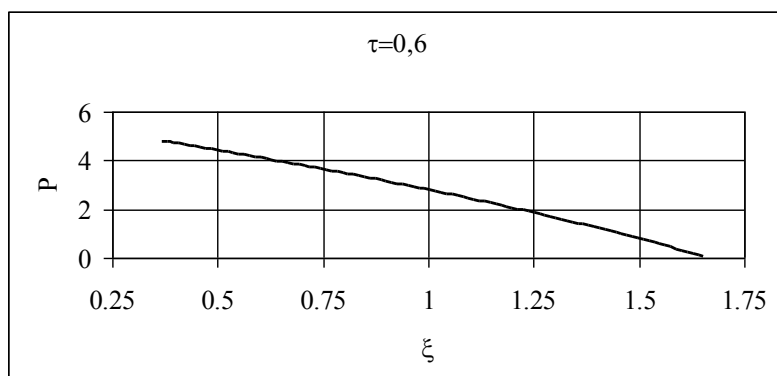
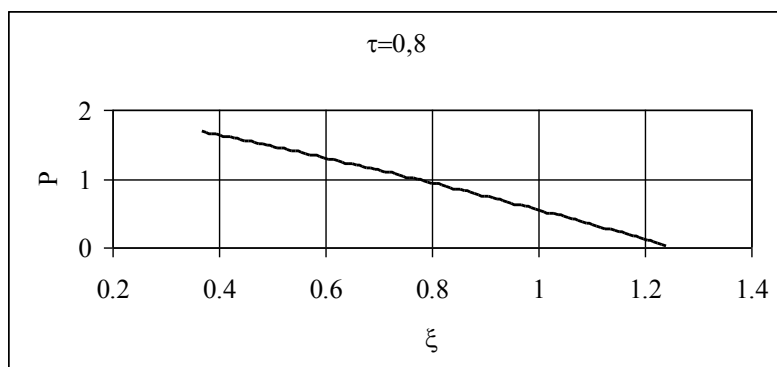
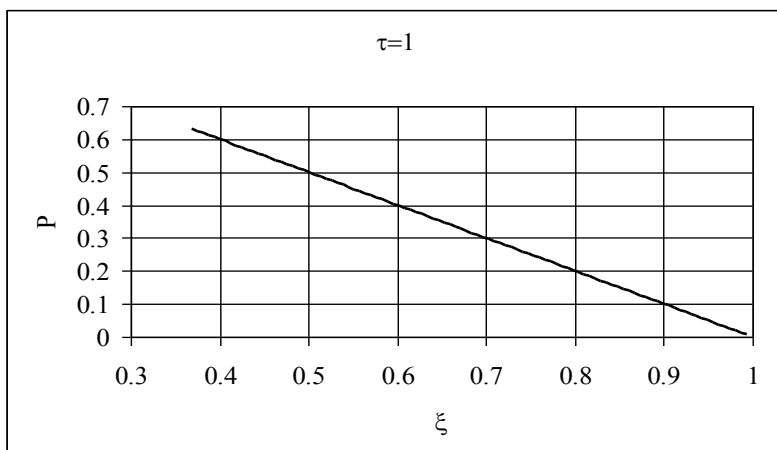
Şəkildən göründüyü kimi, qabarcıqların kollapsı zəminində profili parabolik olur, təzyiqin ən kiçik və ən böyük qiymətləri arasındakı $p - p_0$ fərqi artır. Belə ki, hər şey daha intensivdir və $p_* - p_0$ fərqlə müqayisədə 10^5 dəfə artır.

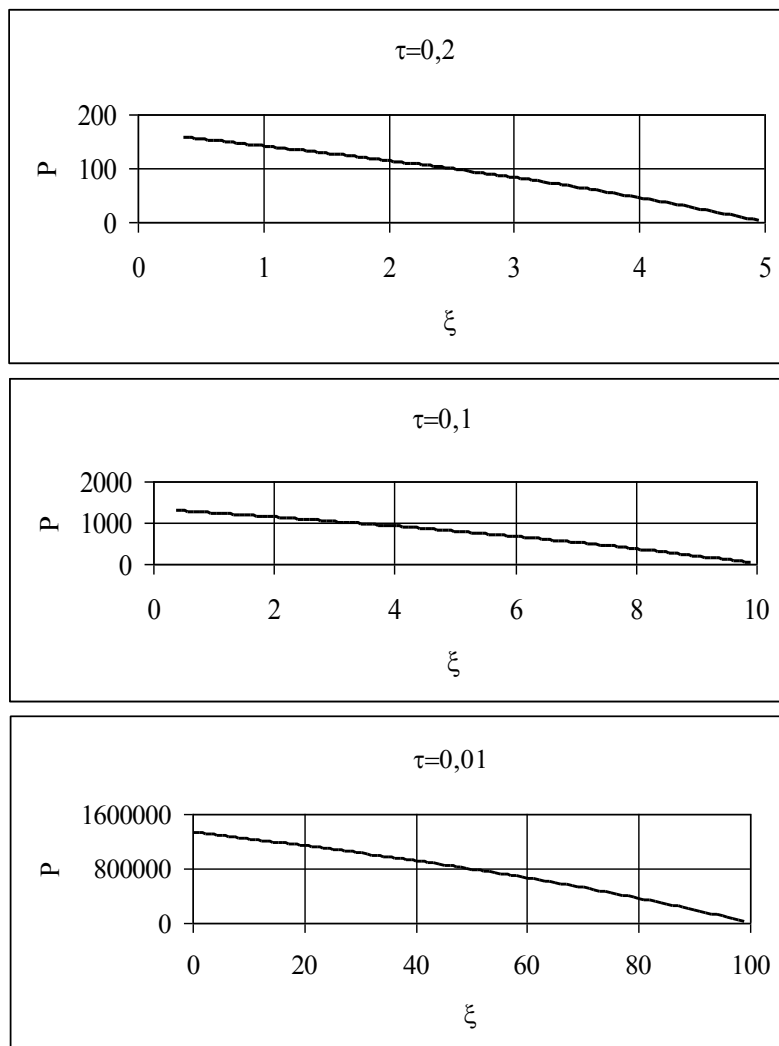
Maye xanasının həcmnin orta təzyiqinin τ -dan asılılığı aşağıdakı münasibətlə göstərilir [3, s. 110]:

$$\frac{\langle p \rangle - p_0}{p_* - p_0} = \langle P \rangle = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\tau^3} + 1 - \varphi_2, \quad \alpha_2 = \alpha_{20}\tau^3 \quad (14)$$

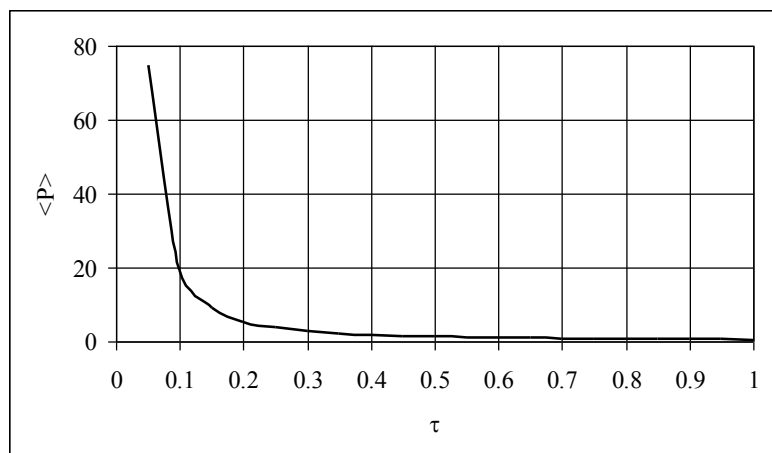
Şək. 3-də xanada orta təzyiqin τ -dan asılılığı göstərilir. Görünür ki, qabarcıqların kollapsı müddətində təzyiq sürətlə artır [4, s. 48].

Belə təzyiqlər yalnız dərin korroziyaya səbəb deyil, amma gəmi mühərriyinin korpusunun ciddi mexaniki zədələrinə gətirib çıxara bilər.





Şək. 2. Zamanın müxtəlif anlarında kollapsa uğrayan qabarcıqların ətrafındakı təzyiqin profili



Şək. 3. Xanada təzyiqin zamandan asılılığı

Nəticə. Suda əmələ gələn təzyiqlər ancaq dərin nöqtəvi korroziyaya deyil, həm də gəminin korpusunun ciddi mexaniki zədələnmələrinə gətirib çıxara bilər.

Korroziyanın məqalədə təsvir edilmiş müxtəlif formaları soyuducu suda metal oksidlərinin həll olan hissəciklərinin yaranmasına gətirir. Bunlar, əsasən dəmir oksidləri, mis oksididir, hansılar ki, adətən istilik mübadilə edən boruların korroziyasına görə olur. Kalsiumkarbonat, sulfat, silikat və suda bir çox başqa duzların mövcudluğu və ya dəniz suyunun çirklənməsi nəticəsində mütləq

aşınmanın miqyasının artmasına gətirir, xüsusilə də yüksək səviyyəli istilik mübadiləsi olan sahələrdə.

Ədəbiyyat

1. Rayleigh Lord. On the pressure developed in a liquid during the collapse of a spherical cavity. / Rayleigh Lord. -1917. Phil. Mag., 34, № 200, 94 - 98 (Sci. Papers, v. 6), -p. 504-507.
2. Нигматулин, Р.И. Основы механики гетерогенных сред. /Р.И. Нигматулин –М.: Наука, -ч. 1. -1978. -464 с.
3. Нагиев, Ф.Б., Некоторые задачи гидродинамики судна / Ф.Б. Нагиев, Г.А. Ахундова. – Germany: - LAP LAMBERT Academic Publishing, -2015. -164 с.
4. Ахундова, Г.А., О кавитационной коррозии судового двигателя // 13-я Всероссийская межвузовская (5-й международный) научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экономики и управления на транспорте», -Владивосток.: -22май, -2015.

Мəqalə qəbul olunub: 12.03.2020

Təvsiyə edib: t.e.d., prof. V.H.Həsənov