



MAYENİN ÖZLÜLÜYÜ VƏ SƏTHİ GƏRİLMƏSİNİN QABARCIQLARIN KOLLAPSINA TƏSİRİ

Gülşən Ağasəf qızı Axundova
Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
E-mail: gulakhundova@gmail.com

Məqalədə 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 tapılmışdır.

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

GİRİŞ

Kavitasiya-korroziya dağılmaların mümkünlüyünün öyrənilməsinə həsr olunan nəzəri tədqiqatların nəticələri gəmiçilik və həmçinin mexanika üçün çox vacibdir. Mayədə pulsasiya edən kavitasiya boşluğunun hərəkəti haqqında bir çox məsələlərə baxılır. Metodikaların işlənməsi və oxşar məsələlərin həllinin mühümlüyü dəniz gəmilərinin işçi səthlərinin kavitasiya eroziyası proseslərinin, kavitasiya boşluqlarının partlaması prosesləri, akustik səslərin və s. keyfiyyətli tədqiqatı ilə bağlıdır.

Biz kavitasiyaya sistemdəki metal səthlərdə buxar qabarcıqları yaradan yüksək və alçaq təzyiqli dalğaların nəticəsi kimi baxa bilərik. Bu qabarcıqlar genişlənə bilər, sonra isə metal səthdə yüksək təzyiqin yaranması ilə çox sürətli tempələ sönməyə bilər (kollaps başa verə bilər). Bunun nəticəsində oksiddən qoruyucu təbəqə ayrılır və metal yeyilib dağılır. Buna qabarcıqların kollapsının inersiyalı rejimi deyilir.

İnersiyalı rejimdə mayenin səthi gərilməsini və özlülüyünü nəzərə almasaq qabarcıqların partlama prosesi ancaq mayenin radial hərəkət inersiyası ilə müəyyən olunur [1]:

MATERIAL VƏ METODLAR

Mayenin radial hərəkət inersiyası Reley-Lamb tənliyi ilə təsvir olunur [2]:

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

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

Bu tənliyin 1-ci və 2-ci tərtib inteqralları

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

başlanğıc şərtləri daxilində alırıq:

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



$$(2) \text{ tənliyində } \Delta p < 0 \text{ və } R < R_0 \left(R \rightarrow 0, \dot{R} \rightarrow \infty \right).$$

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

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

Burada R_* ilə qabarcığın ətrafındakı ekvivalent xananın radiusu işarə olunub [3], onda maye xanasının həcmi üzrə təzyiqinin orta qiyməti üçün ifadə almaq olar. Bunun üçün (r, t) sferik Eyler koordinat sistemində hərəkət və kəsilməzlik tənliyini mayenin sıxılmazlıq ifadəsində yazmaq:

$$\rho_1^0 \left(\frac{\partial v_l}{\partial t} + v_l \frac{\partial v_l}{\partial r} \right) = - \frac{\partial p}{\partial r}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial r} (r^2 v_l) = 0, \quad (5)$$

Sərhəd şərtlərini nəzərə alaraq (5)-i integrallasaq $R = R(t)$ $v_l|_{r=R(t)} = \dot{R}(t)$ olduqda alarıq:

$$v_l = \dot{R} \frac{R^2}{r^2}, \quad \frac{\partial v_l}{\partial t} = \frac{2R\ddot{R} + R^2\ddot{R}}{r^2}, \quad \frac{\partial v_l}{\partial r} = -2\frac{\dot{R}R^2}{r^3}, \quad v_l \frac{\partial v_l}{\partial r} = -2\frac{R^4\dot{R}}{r^5} \quad (6)$$

(6) münasibətini (4)-də yerinə qoysaq alarıq:

$$-\frac{1}{\rho_1^0} \frac{\partial p}{\partial r} = \frac{R}{r^2} \left(R\ddot{R} + 2\dot{R}^2 \right) - 2\frac{R^4\dot{R}}{r^5} \quad (7)$$

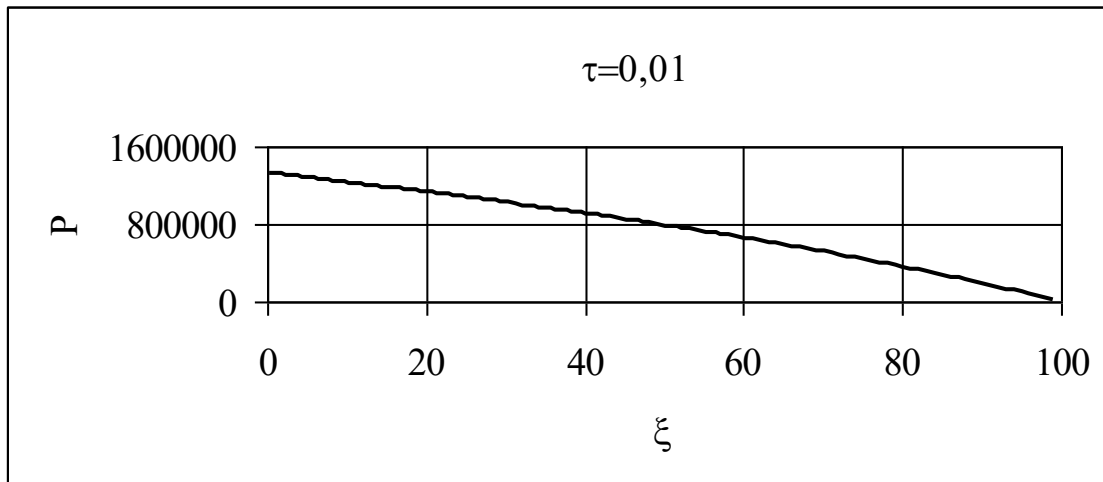
(7) – ni $r = R(t)$ -dən r -ə qədər integrallasaq və hesab etsək ki, $r = R(t)$ olduqda $p = p_0$ olur, onda qabarcığın ətrafında təzyiqin paylanması təsvir edən düsturu alarıq:

$$p = p_0 + \rho_1^0 \left\{ R\ddot{R} \left(\frac{R}{r} - 1 \right) + \frac{\dot{R}^2}{2} \left[1 - \frac{R^4}{r^4} + 4 \left(\frac{R}{r} - 1 \right) \right] \right\}, \quad R(t) \leq r < R_* \quad (8)$$

Xananın həcminə görə mayenin orta təzyiqi aşağıdakı münasibətlə təyin olunur [4]:

$$\langle p \rangle(t) = \int_R^{R_*} \frac{4\pi p r^2 dr}{\frac{4}{3}\pi(R_*^3 - R^3)} = \frac{3}{(1 - \alpha_2)R_*^3} \int_R^{R_*} p r^2 dr \quad (9)$$

Şəkil 1-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 (8) düsturunun əsasında çıxarılan nəticələrlə göstərilib.



Şəkil 1. Zamanın müxtəlif anlarında kollapsa uğrayan qabarcıqların ətrafındakı təzyiqin profili.

NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

Mayenin özlülüyünün və səthi gərilməsinin təzyiqə təsirini qiymətləndirmək məqsədilə təzyiq üçün riyazi model çıxaraq. Nəzərdə tutacağıq ki, mayenin sıxıla bilmə qabiliyyəti təzyiqin paylanması zəif təsir edir.

Mayenin sferik (r, t) Eyler koordinat sistemində hərəkət və kəsilməzlik tənliyini yazaq:

$$\rho_l^0 \left(\frac{\partial v_l}{\partial t} + v_l \frac{\partial v_l}{\partial r} \right) = - \frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial v_l}{\partial r} \right) - \frac{2v_l}{r^2} \right] \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial r} (r^2 v_l) = 0 \quad (11)$$

Burada μ -mayenin kinematik əmsalıdır.

Sərhəd şərtlərini belə yazı bilərik :

$$p|_{r=R(t)} = p_0 - \frac{2\sigma}{R} + 2\mu \frac{\partial v_l}{\partial r} \Big|_{r=R}, \quad v_l|_{r=R(t)} = \dot{R} \quad (12)$$

(11) kəsilməzlik tənliyindən və (12) sərhəd şərtindən $r = R$ olduqda v_l üçün maye hissələrinin sürətinin profilini təyin etmək olar:



$$v_l(r, t) = \frac{R^2}{r^2} \dot{R} \quad (13)$$

(13) münasibətindən xüsusi törəmələri təyin edə bilirik:

$$\frac{\partial v_l}{\partial t} = \frac{2R\dot{R}^2 + R^2\ddot{R}}{r^2}, \quad \frac{\partial v_l}{\partial r} = -2\frac{\dot{R}R^2}{r^3}, \quad v_l \frac{\partial v_l}{\partial r} = -2\frac{R^4\dot{R}^2}{r^5} \quad (14)$$

(11) hərəkət tənliyindən və (12) sərhədd şərtindən alırıq:

$$-\frac{1}{\rho_1^0} \frac{\partial p}{\partial r} = \frac{R}{r^2} \left(R\ddot{R} + 2\dot{R}^2 \right) - 2\frac{R^4\dot{R}^2}{r^5} \quad (15)$$

$$p|_{r=R(t)} = p_0 - \frac{2\sigma}{R} - 4\mu \frac{\dot{R}}{R} \quad (16)$$

Burada σ - səthi gərilmə əmsəlidir.

$r = R(t)$ -dən r -ə qədər (7)-ni integrallasaq qabarcığın ətrafında təzyiqin paylanmasını təsvir edən düstur alırıq:

$$p = p_0 - \frac{2\sigma}{R} - 4\mu \frac{\dot{R}}{R} + \rho_1^0 \left\{ R\ddot{R} \left(\frac{R}{r} - 1 \right) + \frac{\dot{R}^2}{2} \left[1 - \frac{R^4}{r^4} + 4 \left(\frac{R}{r} - 1 \right) \right] \right\}, \quad (17)$$

$$R(t) \leq r < R_*$$

(17) düsturuna görə qabarcıqların kollapsı zamanı təzyiqin mayədə paylanmasının epürasını qurmaq üçün zamanın müxtəlif anlarında və ya elə $\tau = R/R_0$ -nün müxtəlif qiymətlərində (2) münasibətindən istifadə edirik.

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

başlangıç şərtləri daxilində

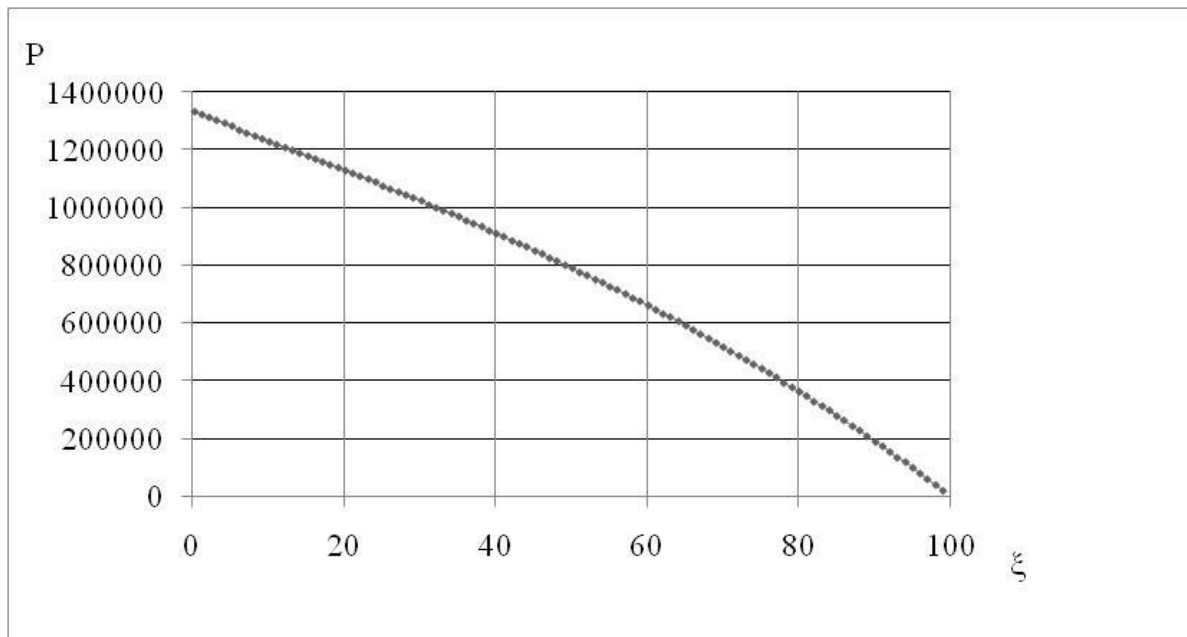
Əgər $\xi = R_0/r$ işarə etsək ξ koordinatı $R_0/R_* \leq \xi \leq R_0/R$ və ya $\sqrt[3]{\alpha_{20}} \leq \xi \leq 1/\tau$ aralığında dəyişəcək. Onda (8) düsturu aşağıdakı formaya düşəcək:

$$\frac{p - p_0}{\Delta p} = P = \left(\Sigma - L \sqrt{\frac{1}{\tau^3} - 1} \right) \frac{1}{\tau} + \frac{1}{\tau^3} \left[\tau^3 - \tau\xi + \frac{\tau\xi}{3} (1 - \tau^3) (4 - \tau^3 \xi^3) \right] \quad (18)$$

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

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

$\tau = R/R_0 = 0,01$ olduqda $\alpha_{20} = 0,05$ həcm faizli qaz-maye qarışığının qabarcıqlarının kollapsı anında ətrafındakı təzyiqin təsvirinin profili şəkil 2-də (18) tənliyi əsasında çıxarılan nəticələrə uyğun təsvir edilir. Şəkil 1 və şəkil 2-nin müqayisəsi göstərir ki, səthigərilmə maye təzyiqinin qiymətinin azalmasına gətirib çıxarır [5].



Şəkil 2. Kollaps zamanında qabarcıqların ətrafındakı təzyiqin profili

YEKUN NƏTİCƏ

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

ƏDƏBİYYAT

1. Hickling, R., Plesset, M.S. Collapse and rebound of a spherical bubbles in water // Physical Fluids, -1964, 7, №1, -p. 7-14
2. Rayleigh, Lord. On the pressure developed in a liquid during the collapse of a spherical cavity // Phil. Mag, -1917, 34, № 200, - p. 504-507.
3. Нигматулин, Р.И. Основы механики гетерогенных сред / Р.И.Нигматулин. -Москва: Наука, -1978. - 464 с.
4. 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.
5. Нагиев, Ф.Б., Ахундова, Г.А. Некоторые задачи гидродинамики судна / Ф.Б.Нагиев, Г.А.Ахундова. –Германия: Lap Lambert Academic Publishing, - 2015. -164 с.



THE EFFECT OF FLUID VISCOSITY AND SURFACE TENSION ON THE COLLAPSE OF BUBBLES

G.A. Axundova

Abstract. The effect of fluid viscosity and surface tension on the collapse of bubbles was investigated and a mathematical model was derived. The profile of the description of the pressure around the moment of collapse of the bubbles of the gas-liquid mixture with the volume concentration of $\alpha_{20} = 0,05$ when $\tau = R/R_0 = 0,01$.

Keywords: *viscosity, cavitation, corrosion, bubble, collapse, pressure, time, sea vessel*

ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ И ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ НА СХЛОПЫВАНИЕ ПУЗЫРЬКОВ

Г.А. Ахундова

В статье исследуется влияние вязкости жидкости и поверхностного натяжения на схлопывание (закрытие) пузырьков и строится математическая модель. Профиль характеристики давления в районе момента схлопывания пузырьков газожидкостной смеси с объемной концентрацией $\alpha_{20} = 0,05$ при $\tau = R/R_0 = 0,01$.

Ключевые слова: *вязкость, кавитация, коррозия, пузырь, схлопывание, давление, время, морское судно*