

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

**ÖZLÜ QABARCIQLI MAYELƏRLƏ
DOLDURULMUŞ DEFORMASIYALANAN BORUDA
DALĞALAR**

İxtisas: 2003.01– Maye, qaz və plazma mexanikası
Elm sahəsi: Riyaziyyat
İddiaçı: **Reyhan Səyyad qızı Əkbərli**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

Bakı – 2021

Dissertasiya işi **Bakı Dövlət Universitetinin «Nəzəri mexanika və bütöv mühit mexanikası»** kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərlər: fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Rafael Yusif oğlu Əmənzadə
fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent
Yusif Məmmədəli oğlu Sevdimaliyev

Rəsmi opponentlər: riyaziyyat elmləri doktoru, professor
İlham Teymur oğlu Pirməmmədov
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Fuad Seyfəddin oğlu Lətifov
riyaziyyat üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Azad İsa oğlu Qurbanov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən BFD 2.17/1 Birdəfəlik Dissertasiya şurası

Birdəfəlik Dissertasiya şurasının sədri:
AMEA-nın həqiqi üzvü, f.-r.e.d., professor

_____ **Məhəmməd Fərman oğlu Mehdiyev**

Birdəfəlik Dissertasiya şurasının elmi katibi:
mexanika elmləri doktoru, dosent

_____ **Laura Faiq qızı Fətullayeva**

Birdəfəlik elmi seminarın sədri:
AMEA-nın müxbir üzvü, f.-r.e.d.

_____ **Rauf Hacı oğlu Qardaşov**

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Mühitin çoxfazalılığının effekti bu mühitdə baş verən hidrodinamik proseslərin və hərəkətin tədqiqatını çətinləşdirir. Bu özünü daha kəskin rəqslərdə və zərbə təsirlərində yaranan dalğaların yayılmasında göstərir. Qabarcıqlı mayelərin boruda axınında həyəcanlanmaların yaratdığı dalğaların yayılması tədqiq edilmişdir. Göstərilən proseslərin riyazi modelləşdirilməsi və qanunauyğunluqlarının öyrənilməsinin energetik qurğuların yaradılması üçün müasir texnologiyalarda, həm də hərbi işlərdə və s. yeni üsulların işlənməsi və onların analizinin elmi əsaslarının yaradılmasında müstəsna əhəmiyyətə malikdir. Tədqiqat işində energetikanın bir çox sahələrindəki məsələlərdə, neft-kimya texnoloji proseslərində, neft emalında bir sürətli qaz-maye axını olan hallar üçün xarakterik olan dalğavari hərəkət tədqiq edilmişdir. Heterogen mühitlərin hidrodinamika məsələlərində bütöv mühit mexanikası mövqeyindən aparılan tədqiqatlarda bir qayda olaraq fizikanın bir çox bölmələrinin, o cümlədən zərbə dalğaları fizikası, qaz dinamikası, partlayış fizikası, hidravlika, istilik fizikası və süzülmə nəzəriyyəsinin nəticələri birgə müzakirə olunur. Təqdim olunan dissertasiya işinin mövzusu bu məsələlərin həlli ilə bağlıdır. Bu mənada **dissertasiya işinin mövzusu aktualdır.**

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Maye və qaz qabarcıqlarından ibarət olan ikifazlı mühitin yerləşdiyi nazik sonsuz dairəvi en kəsikli silindrik örtükdən ibarət hidroelastiki sistemdə monoxromatik mənbənin yaratdığı kiçik həyəcanlanmalardakı dalğaların yayılmasının riyazi modelləşdirilməsi və həlli.

Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri. Dissertasiya işinin əsas məqsədi çoxfazlı heterogen maye mühitlə dolu silindrik örtükdən ibarət hidroelastik sistemdə dalğaların evalyusiyasının xüsusiyyətlərini tədqiq etmək, neft-qaz qarışıqlarının və müxtəlif təyinatlı su boru kəmərlərində qabarcıqların başlanğıc həcmi konsentrasiyasından asılı olan hidrodinamik xarakteristikaları təyin etmək, alınan nəticələrin məlum həllərlə müqayisəsi, hərəkətin kiçik

sürətlərində prosesin mürəkkəb modellərlə tədqiqinə uyğun olmasını göstərməkdir.

Tədqiqat metodları. Analitik alınmış nəticələr ikifazalı maye-örtük hidrodinamik sisteminin bütöv mühit mexanikasının və fizikanın ümumi qanunları və prinsiplərindən fenomenoloji üsullarla alınmış riyazi modelin analitik həllinə əsaslanır. Tədqiqatda heterogen maye məhlulu ilə birlikdə örtüyün həyəcanlanmasından yaranan akustik (səs) dalğaların sistemin komponent və fazalarının müxtəlif fiziki parametrlərdən asılı hidrodinamikası öyrənilmişdir.

Müdəfiyə çıxarılan əsas müddəalar. Dissertasiya işində aşağıdakı əsas elmi nəticələr alınmışdır:

1. İkifazalı maye və qaz qabarcığı olan sonsuz uzun nazik divarlı elastiki örtük hidroelastiki sistemdə monoxromotik rəqslər nəticəsində dalğaların yayılmasının, maye mühitlə örtük arasındakı səthlərdə kinematik və dinamik kontakt şərtləri, uclardakı sərhəd şərtləri nəzərə alınmaqla riyazi modeli qurulmuşdur.
2. Mayenin müxtəlif fiziki xassələri- sıxılan, sıxılmayan, qeyri-özlü, özlü Nyuton mayesi, xətti özlü elastiki; qaz qabarcıqlarının kürəşəkilli sabit diametrlili, örtüklərin isə elastiki düzoxlu dairəvi en kəsikli nazik divarlı izotrop və ortotrop hallarında qoyulan riyazi məsələlərin analitik həlləri alınmışdır.
3. Hidroelastiki sistemin fazalarının və komponentlərinin həndəsi xarakterik və təcrübi fiziki-mexaniki parametrlərinin müxtəlif qiymətləri üçün dalğaların dinamik və kinematik xarakteristikaları dəqiqləşdirilmiş və xarakterik asılılıq əyrilərinin qrafikləri qurulmuşdur.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Dissertasiya işində aşağıdakı elmi yeniliklər alınmışdır:

Qaz qabarcıqları olan ikifazalı maye qarışığının sonsuz uzun nazik örtükdə hidroelastiklik məsələsinin riyazi modelləşdirilməsi aparılmış, dalğa xarakteristikalarının müəyyənləşdirilmiş və analitik həllər alınmışdır.

Çoxfazalılıq xüsusiyyətinin birləşməli maye ilə dolu örtükdə dalğaların yayılmasının təsirindən əsaslı fərqləndiyi göstərilmişdir. Təqdim olunan iş qabarcıqlı özlü maye mühitlə silindrik elastik

örtükdən ibarət hidroaeroelastik sistemdə maye faza ilə bərk cisim olan örtüyün birlikdə qarşılıqlı təsirinin araşdırılmasına və yeni nəticələrin alınmasına həsr olunmuşdur.

Dissertasiya işində alınmış əsas nəticələr yenidir. Bu nəticələr alınmış analitik həllər və qurulmuş müqayisəli qrafiklərlə tam təsdiq olunmuşdur.

Məsələnin həlli bütöv mühit mexanikası problemlərinin həllinə riyazi fizikanın Füryenin dəyişənlərə ayrılan funksiyaların hasili kimi axtarılması metodunun və transendent cəbri tənlik olan dispersiya tənliyinin biseksiya üsulunun tətbiqi ilə alınmışdır.

Tədqiqatın nəzəri və praktik əhəmiyyəti. Dissertasiya işində alınmış nəticələr qabarcıqlı mayelərdə dalğaların yayılması məsələsinin nəzəri əsaslarının hazırlanması və praktiki hesablamaların aparılmasında istifadə edilə bilər. Mürəkkəb quruluşlu çoxfazlı maye – qaz mühitinin deformasiya olunan bərk cisim və konstruksiyalardakı axınlarında, həmçinin su və quruda nəqliyyat sistemlərinin, uçan obyektlərin və aparatların yanacaq və maye nəqli edici texnoloji sistemlərində tətbiq oluna bilər. Karbohidrogen nəql olunan boru xətlərində, biosistemlər və orqanizmlərin qan damar sistemində baş verən fiziki və mexaniki proseslərin analizində və layihələndirilməsində istifadə oluna bilər.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiyada alınan nəticələr və yeniliklər Azərbaycan xalqının Ümummilli Lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 90 illiyinə həsr olunmuş “Riyaziyyat və Mexanikanın Aktual Problemləri” adlı elmi konfransda (Bakı-2013), AMEA-nın müxbir üzvü, f.-r.e.d., prof. Y.Ə.Əmənzadənin 100-illik yubileyinə həsr olunmuş “Mexanikanın klassik və müasir problemləri” adlı Respublika elmi konfransında (Bakı-2014), Azərbaycan xalqının Ümummilli Lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 92-ci ildönümünə həsr olunmuş “Riyaziyyat və Mexanikanın Aktual Problemləri” adlı elmi konfransda (Bakı-2015), AMEA-nın həqiqi üzvü, f.-r.e.d., prof. Məcid Lətif oğlu Rəsulovun 100-illik yubileyinə həsr olunmuş “Nəzəri və Tətbiqi Riyaziyyatın Aktual Məsələləri” Respublika elmi konfransda (Şəki-2016), “Riyaziyyatın nəzəri və tətbiqi problemləri” Beynəlxalq elmi konfransda (Sumqayıt-2017), “XVIII Международная

конференция-моделирование и исследование устойчивости динамических систем” (Киев, Украина-2017), III Міжнародна конференція «Розвиток науки у вік інформаційних технологій» (м. Київ | 30 вересня 2017 р.), “Актуальные направления научных исследований XXI ВЕКА”- теория и практика (2019 г.), BDU-nun 100 illiyinə həsr olunmuş IECMMA Beynəlxalq konfransda (2019, 27-30 Avqust, Bakı), “The 15th International Conference on Technical and Physical Problems of Electrical Engineering (14 - 15 October 2019 İstanbul, Turkey), «Тенденции и перспективы развития науки и образования в условиях глобализации» (31 мая 2019 года Вып. 47) adlı elmi konfranslarda məruzə edilmişdir.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin “Mexanika-riyaziyyat” fakültəsinin “Nəzəri mexanika və bütöv mühit mexanikası” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

İddiaçının şəxsi töhfəsi. Dissertasiya işində alınan bütün elmi yeniliklər və eləcə də nəticələr iddiaçıya məxsusdur.

Çap olunmuş elmi əsərlər. Dissertasiya işinin əsas nəticələri iddiaçının 3-ü Scopus bazasına daxil olan jurnallarda olmaqla Ali Attestasiya Komissiyasının tövsiyə etdiyi elmi nəşrlərdə çap etdirdiyi 11 elmi məqaləsində öz əksini tapmışdır. Nəşr olunmuş məqalələrdən 3-ü həmmüəllifsizdir. Bundan əlavə dissertasiya işində alınan nəticələr beynəlxalq və respublika səviyyəli 12 elmi konfransda məruzə edilmiş və bu məruzələr uyğun konfrans materiallarında öz əkslərini tezis şəkildə tapmışlar.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrı-ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işi giriş, dörd fəsildən, nəticə (titul səhifəsi–377 işarə, mündəricat – 3057 işarə, giriş – 34132 işarə, I fəsil -60886 işarə, II fəsil–26775, III fəsil -24726, IV fəsil 26076, nəticə–1840 işarə) və 134 adda ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiya işinin ümumi həcmi–177869 işarədir.

DİSSERTASIYA İŞİN QISA MƏZMUNU

Giriş, dörd fəsil, nəticə və ədəbiyyat siyahısından ibarət olan dissertasiya işinin qısa xülasəsini verək.

Girişdə dissertasiyaya aid olan işlərin qısa xülasəsi verilmiş, dissertasiya işinin mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, işdə alınan əsas nəticələr əks olunmuş və digər işlərin nəticələri ilə müqayisəsi verilir.

Birinci fəsil altı yarımfəsildən ibarətdir. Birinci fəsildə ikifazlı mayelərin xüsusiyyətləri, maye və qabarcığın qarşılıqlı münasibəti, qabarcıqlı mayelərdə əsas fərziyyələr və onların riyazi təsvirinin qısa xülasəsi verilir. Heterogen mühit olan ikifazlı maye və qaz qabarcığından ibarət kontiniumda baş verən hərəkət və proseslərin riyazi modelləşdirilməsinin əsasları göstərilir. Borularda maye-qaz qarışığının axınının xüsusiyyətləri verilir, bu zaman mayenin özlülüyünün sabit və təzyiqdən asılı xətti qanunla dəyişməsi hallarına baxılır. İkifazlı axınların daşınması ilə əlaqəli məsələ həll olunaraq, tam tənliklər sistemi alınır. Alınmış tənliklər sistemi həm də ölçüsüz dəyişənlərdə yazılır.

Birinci fəslin birinci yarımfəsində maye-qaz ikifazlı mühitin fiziki xassələri və fazaların qarşılıqlı təsirlərinin xüsusiyyətlərinin icmalı aparılır. Sedov, Prandtl və Leviçin nəzəriyyələri əsasında müxtəlif proseslərdə kürə formasında qaz qabarcıqlarının müxtəlif xassəli mayelərlə qarşılıqlı təsirdə fiziki parametrlərin və kinematik xarakteristikalarının təyini analiz edilir, müxtəlif yaxınlaşmalar olan Nyuton və Stoks yaxınlaşmalarında diametrdən asılı axının sürətləri təyin olunur.

Birinci fəslin ikinci yarımfəsində ikifazlı qaz qabarcıqlarının maye ilə qarşılıqlı təsiri prosesində ölçücə kiçik olan qabarcıqların rəqs məsələsi, qazların maye ilə birgə proseslərində kavitasiya və qaynama hadisələri analiz olunur. Mayelərin sıxılan və ya sıxılmayan olması və qabarcıqların sayından asılı olaraq yaranan akustik dalğalar və zərbə dalğaların yayılmasının icmalı edilir. Bu proseslərdə istifadə olunan riyazi modellər, termodinamik münasibətlər və kontakt səthlərində mümkün olan münasibətlər yazılır.

Birinci fəslin üçüncü yarımfəslində Niqmatulinin nəzəriyyəsi əsasında çoxfazlı maye mühitlərdə riyazi modelləşdirilmədə qəbul olunan əsas fərziyyələr, birsürətli Raxmatulin modeli üçün şərtlər verilir. Dissertasiya işində tətbiq olunan maye və qaz qabarcıqlı mühitin dinamik və kinematik xarakteristikaları, qaz qabarcıqlarının miqdarı üçün misallar göstərilir.

Birinci fəslin dördüncü yarımfəslində elastiklik nəzəriyyəsinin tənlikləri əsasında nazik divarlı elastiki örtüklərin materiallarının müxtəlif fiziki xassələri nəzərə alınmaqla hərəkətlərinin diferensial tənliklərinin müxtəlif modelləri verilir.

Nazik divarlı boruların dairəvi enkəsikli örtüklər vasitəsilə sxematikləşdirilməsi və materialın izotropluqdan fərqli fiziki xassələrə malik olması şərti ilə ortotrop modellərin seçilməsi real fiziki proseslərə maksimum adekvatlığı təmin edir. Canlı orqanizmlərdə qan damar sistemləri, kompozit materialların tətbiqi ilə konstruktiv anizotrop luq konstruksiyaların istismar resurslarını keyfiyyətcə artırır.

Birinci fəslin beşinci yarımfəslində məhz belə əhəmiyyətə malik ortotrop borularda ikifazlı maye qaz qarışığının modeli analiz edilir.

Birinci fəslin altıncı yarımfəslində maye – qaz qarışığının nazik divarlı boruda kiçik rəqslərindən yaranan dalğanın yayılması məsələsinin riyazi modeli verilir. Borunun deformasiyası nəzərə alınmaqla və axının canlı kəsiyinə görə kəsilməzlik tənliyini riyazi ortalamaqla kontakt səthlərindəki kinematik və dinamik şərtlərlə birgə hərəkətinin oxasimmetrik halında radial inersiya nəzərdən atılır. Bu prosesdə bərk cisim və maye çoxkomponentli sistemin xüsusiyyətləri qabarcığın həcmi konsentrasiyasından asılı olaraq araşdırılır.

İkinci fəsildə silindrik ortotrop boruda özlü mayenin birözlü hərəkətinə baxılır. Kəsilməzlik tənliyinin borunun en kəsiyinə görə ortaladılmış formasından istifadə olunur. İkifazlı mühitin silindrik boruda axını məsələsi araşdırılaraq, əldə edilmiş ədədi nəticələr əsasında qrafik və cədvəllər qurulur.

İkinci fəslin birinci yarımfəslində sferik qabarcıqlı maye-örtük sisteminin hidrodinamik xarakteristikalarının özlülüyün bir halı üçün riyazi modeli seçilir, çoxfazlı maye üçün qəbul edilmiş fərziyyələr daxilində qoyulmuş məsələnin sadələşdirilməsi aparılır. Bu fərziyyələr daxilində mayenin hərəkət tənliyi, axının en kəsiyi üzrə kəsilməzlik tənliyinin ortalaşdırılması və ikifazlı mühitin reoloji tənliyindən ibarət aşağıdakı münasibətlər daxil edilir:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial t} &= -\frac{2}{R} \frac{\partial w}{\partial t} \\ \frac{\partial p}{\partial x} &= -\rho_0 \frac{\partial u}{\partial t} \\ \frac{\xi}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial t} &= p - a^2 \rho \end{aligned} \quad (1)$$

Bu tənliklərdə $u(x,t)$ - ilə qarışıqın axınının sürəti, $w(x,t)$ - örtüyün radial yerdəyişməsi, $p(x,t)$ - hidrodinamik təzyiq, $\rho(x,t)$ - qarışıqın sıxlığı işarə olunub.

Müvazinətli mühidə səsin yayılma sürətinin kvadratı:

$$\begin{aligned} a^2 &= \frac{1}{\alpha_{20}(1-\alpha_{20})} \left(\frac{\rho_{10}}{\rho_{10}-\rho_{20}} \right)^2 \frac{p_0}{\rho_{10}} \\ \xi &= \frac{4}{3} \frac{\mu(1-\alpha_{20})}{\alpha_{20}} \end{aligned} \quad (2)$$

(2)- ifadəsi həcmi özlülüyü xarakterizə edir, burada μ daşıyıcı fazanın, yəni baxdığımız halda maye fazanın dinamik özlülük əmsalı, α_{20} - qabarcıqların həcmi konsentrasiyası, ρ_{10}, ρ_{20} müvafiq olaraq, daşıyıcı və dispers fazaların sıxlıqlarının müvazinətli mühidə qiymətidir.

İkinci fəslin ikinci yarımfəslində ortotrop örtüyün oxasimmetrik hərəkətinin diferensial tənliyində ətalətli həddini atmaqla məsələyə baxılır. Sıxlığa görə xüsusi törəməli diferensial tənlik alınır. Furiyenin dəyişənlərə ayrılan funksiyaların hasili metodunu tətbiq etməklə diferensial tənliklər həll edilir.

$$p - \frac{hE_2}{(1-\nu_1\nu_2)R^2} w = \rho_* h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$$

ρ_* - örtük divarının sıxlıq, E_2 - Yunq modulu, ν_1 və ν_2 - Puasson əmsallarıdır. Bu ifadədə sonuncu hədd birinci həddə nəzərən praktik olaraq çox kiçik olduğundan onu nəzərdən ataraq, alınır:

$$w = \frac{(1-\nu_1\nu_2)R^2}{hE_2} p. \quad (3)$$

(1) və (3) tənliklərini sıxlığa görə həll edərək, alınır:

$$\left(1 + \frac{a^2}{c_0^2}\right) \frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} + \frac{\xi}{c_0^2 \rho_0} \frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} - \frac{\xi}{\rho_0} \frac{\partial^3 \rho}{\partial x^2 \partial t}$$

Sonuncu tənliyin həllini aşağıda göstərilən funksiyaların hasili şəklində axtarılır:

$$\rho(x, t) = y(x) \exp(i\omega t)$$

Tənliyin həlli ikitərtibli, xətti bircins diferensial tənliyin həllinə gətirilir:

$$y'' + \delta^2 y = 0$$

İkitərtibli bircins diferensial tənliyin həlli aşağıdakı kimi olur:

$$y = Ae^{-i\delta x} + Be^{i\delta x}$$

Qoyulmuş məsələ həll edilməklə sıxlıq, hidrodinamik təzyiq, sürət və örtüyün yerdəyişməsi üçün aşağıdakı asılılıqları alınır:

$$p(x, t) = (a^2 + im_3) \{Ae^{-i\delta x} + Be^{i\delta x}\} \exp(i\omega t)$$

$$\rho(x, t) = \{Ae^{-i\delta x} + Be^{i\delta x}\} \exp(i\omega t)$$

$$u(x, t) = \frac{\delta(a^2 + im_3)}{\rho_0 \omega} \{Ae^{-i\delta x} + Be^{i\delta x}\} \exp(i\omega t)$$

$$w(x, t) = \frac{(1-\nu_1\nu_2)R^2}{hE_1} (a^2 + im_3) \{Ae^{-i\delta x} + Be^{i\delta x}\} \exp(i\omega t).$$

İkinci fəslin üçüncü yarım fəslində sonlu uzunluqlu boruda təzyiqin, sürətin, sıxlığın və örtüyün yerdəyişməsinin pulsvari təzyiq nəticəsində yaranan dalğa prosesində alınan sərhəd məsələsinin həlli verilir.

Geniş yayılmış praktik məsələlərdə bir qayda olaraq borunun sol ucunda pulsvari təzyiq verilir

$$p(0, t) = p^\vee \exp(i\omega t) \quad (4)$$

və $x=l$ olduqda borunun digər ucunda təzyiq sıfıra bərabər olur:

$$p(l, t) = 0$$

Sərhəd şərtləri vasitəsilə inteqral sabitləri təyin olunur və yarımsonsuz örtük üçün Eyler formullarından istifadə edərək təzyiq, sürət, sıxlıq və yerdəyişmə kəmiyyətlərinin amplitudaları üçün aşağıdakı formullar təyin edilir:

$$|\rho| = \frac{p^\vee e^{-\delta_1 x}}{\sqrt{a^4 + m_3^2}}$$

$$|p| = p^\vee e^{-\delta_1 x}$$

$$|u| = p^\vee \frac{e^{-\delta_1 x}}{\rho_0 w} \sqrt{\delta_0^2 + \delta_1^2} \quad (5)$$

$$|w| = p^\vee e^{-\delta_1 x} \frac{(1 - v_1 v_2) R^2}{h E_2}$$

İkinci fəslin dördüncü yarımfəslində baxılan məsələdə mayenin dinamik parametrlərinin və hərəkətin xarakteristikalarının mayenin sərfi vasitəsilə təyin edilməsi göstərilir.

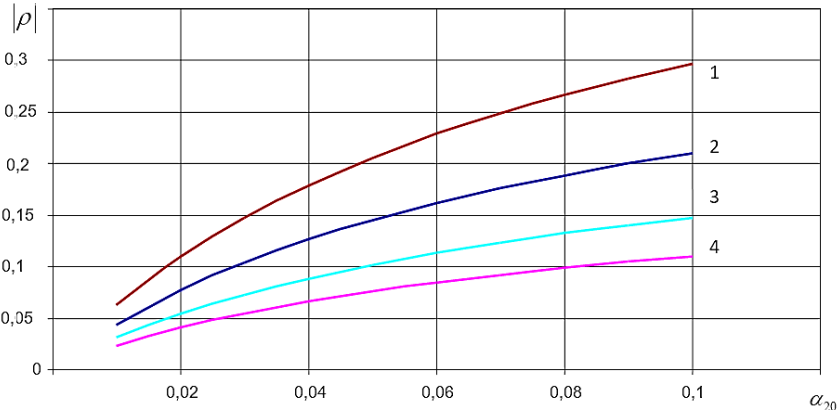
$$|\rho| = \frac{Q^\vee \cdot \rho_0 \cdot \omega}{\pi R^2 \sqrt{(\delta_1^2 + \delta_0^2) \cdot (a^4 + m_3^2)}} \cdot \exp(-\delta_1 x)$$

$$|p| = \frac{Q^\vee \cdot \rho_0 \cdot \omega}{\pi R^2 \sqrt{(\delta_1^2 + \delta_0^2)}} \cdot \exp(-\delta_1 x) \quad (6)$$

$$|w| = \frac{Q^\vee \cdot \omega}{2 \pi R c_0^2 \sqrt{(\delta_1^2 + \delta_0^2)}} \cdot \exp(-\delta_1 x)$$

$$|u| = \frac{Q^v \cdot \omega}{\pi R^2} \cdot \exp(-\delta_1 x)$$

Sərf vasitəsi ilə tapılan xarakteristikaların amplitudlarının qabarcıqların vahid həcmdəki miqdarından asılı olaraq dəyişməsinə göstərmək üçün tərkibində hava qabarcıqları olan dörd maye üçün hesablamalar aparılaraq qrafiklər qurulmuşdur.



Şəkil 1. İkifazlı mayenin sıxlığının qabarcıqların miqdarından asılılıq qrafiki; 1- qılsirin, 2-su, 3-etanol, 4-yüngül neft.

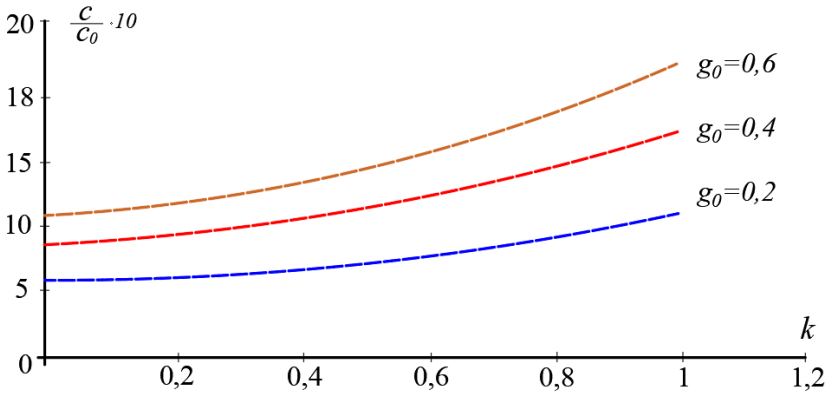
Üçüncü fəsil özlü-elastik örtükdə sıxılmayan qabarcıqlı mayenin pulsvari hərəkətinə həsr olunur. Hidroelastiki sistemdə yaranan dalğaların yayılmasının ətraf mühitin özlü elastiki sürtünməsinə nəzərə almaqla riyazi modelləşməsi aparılır. Müqayisə üçün daxilində ideal mayenin kiçik rəqslərinin düz oxlu elastiki izotrop örtük üçün birölçülü nəzəriyyənin əsas fərziyyələrini nəzərə almaqla, qoyulmuş məsələ yarımsonsuz silindrik ortotrop örtük daxilində sıxılmayan mayenin pulsvari hərəkəti və özlü-elastik materialdan hazırlanmış örtükdə özlü sıxılmayan qabarcıqlı mayenin pulsvari hərəkəti araşdırılır.

Üçüncü fəslin birinci yarımfəslində birölçülü hərəkət modelinə baxılır, yarımsonsuz boru və daxilində ikifazlı məhlulun hərəkəti prosesində kütlənin saxlanması və impuls tənlikləri yazılır. Ətraf mühitin təsirinin irsi elastiki modellə nəzərə almaqla model qurulur.

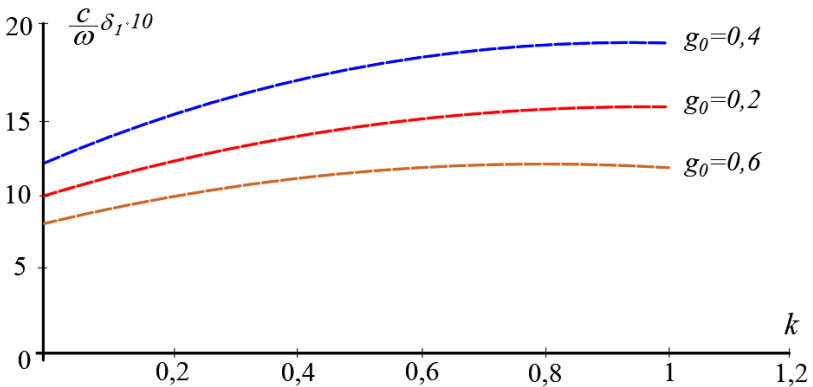
Boru divarının hərəkət tənliyinin ifadəsində irsi elastiklik nəzəriyyəsi çərçivəsində özlü sürtünməni ifadə edən nüvəni və elastik sərtliyin ölçülü parametrini nəzərə alaraq:

$$p = \rho_* h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + G \left\{ \frac{\partial w}{\partial t} - \int_{-\infty}^t G_0(t-\tau) \frac{\partial w(x, \tau)}{\partial \tau} d\tau \right\} + \frac{Eh}{R^2(1-\nu^2)} w$$

Mayeni xarakterizə edən tənliklərlə, örtüyün tənliyi birlikdə həll edilərək, dəyişənlərə ayrılma metodunun tətbiqi ilə mühitin əsas hidrodinamik parametrləri təyin olunur. Dalğa sürətinin sərtlik əmsalından və sönmənin dalğa sürətindən asılılıq qrafikləri qurulmuşdur.



Şəkil 2. Dalğa sürətinin sərtlik əmsalından asılılığı



Şəkil 3. Sönmənin dalğa sürətindən asılılığı

Üçüncü fəslin ikinci yarımfəslində özlü elastik boruda elastik sürtünmə nəzərə almaqla yarımsonsuz ortotrop boruda özlü elastik sürtünmə nəzərə alınmaqla kiçik hərəyacanlanmalarda yaranan dalğaların analizi aparılır. Örtüyün radial yerdəyişməsinə görə xüsusi törəmli diferensial tənlik alınır. Tənliyin həlli Furuyenin dəyişənlərinə ayrılan funksiyalar metodu ilə axtarılır. Təzyiq üçün analitik düstur alınaraq, konkret fiziki, təcrübi və konstruktiv parametrlər üçün xarakterik əyrilər qurulur.

Üçüncü fəslin üçüncü yarımfəslində özlü-elastik örtükdə sıxılmayan qabarcıqlı mayenin pulsvari hərəkətinə baxılır. Model olaraq xətti irsilik operatoru seçilir. Məsələnin həlli dəyişənlərinə ayrılan funksiyalar sinfində axtarılır.

Borunun hərəkət tənliyi irsilik operatorunun ifadəsini nəzərə almaqla aşağıdakı formada olur:

$$p = \frac{hE}{(1-\nu^2)R^2} \left\{ w - \int_{-\infty}^t \Gamma(t-\tau)w d\tau \right\} + \rho_* h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$$

Özlü-elastik örtüyün hərəkət tənliyi ilə sıxılmayan qabarcıqlı mayenin hərəkət tənliklərinin birgə həlli nəticəsində əsas parametrlər təyin edilir:

$$\rho(x,t) = \beta \exp[(i(\omega t - \delta x))]$$

$$p(x,t) = \beta(a^2 + im_3) \exp[(i(\omega t - \delta x))]$$

$$u(x,t) = -\beta \frac{\delta}{\rho_0 \omega} (a^2 + im_3) \exp[(i(\omega t - \delta x))] \quad (7)$$

$$w(x,t) = \beta \frac{(1-\nu^2)R^2}{(1-\alpha)hE} (a^2 + im_3) \exp[(i(\omega t - \delta x))]$$

Burada, $\alpha = \int_0^{\infty} \Gamma(\theta) e^{-i\omega\theta} d\theta$, $\beta = \frac{P\nu}{a^2 + im_3}$ işarələməsi aparılır.

Yarımfəslin sonunda dalğa dekrementinin örtüyün relaksasiya nüvəsindən asılılığı və ikifazlı mühidə dalğa sürətinin örtüyün relaksasiya nüvəsindən asılılıq qrafikləri qurulur.

Dissertasiyanın *dördüncü fəsl*i başlanğıc zamanda sükunətdə olan özlü Nyuton mayesi və qaz qabarcıqlarından ibarət hidroelastiki sistemdə mayenin silindrik örtükdə monoxromatik mərkəzdən kiçik sürətlərlə həyəcanlandırılması nəticəsində yaranan dalğaların yayılması prosesinin riyazi modelləşdirilməsi məsələsinə həsr olunur.

Dördüncü fəslin birinci yarımfəslində sonsuz uzunluqlu elastik izotrop silindrik örtükdə maye-qaz ikifazalı mühitin hidroelastiki sisteminin dalğaların yayılması prosesində hidrodinamika məsələsinin riyazi modelləşməsi tam qoyuluşda təsvir edilir. Əvvəlcə maye-qaz qarışığında dalğaların yayılmasının riyazi modelləşdirilməsi aparılır və məsələ həll edilir. Navye-Stoksun xəttiləşdirilmiş tənliyini, xəttiləşdirilmiş məsələdə kəsilməzlik tənliyi və maye mühitin hal tənliyi aşağıdakı formada verilir:

$$\rho_f \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} = -\text{grad} p + \frac{1}{3} \mu \text{grad} \text{div} \vec{u} + \mu \nabla^2 \vec{u} \quad (8)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho_f \text{div} \vec{u} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial p}{\partial \rho} = a_f^2 \quad (10)$$

İkifazalı maye-qaz mühitində hərəkət halında yaranan gərginliklərin hidrodinamik təzyiç və deformasiya sürəti komponentləri arasındakı asılılıq xətti özlü Nyuton mayesi üçün:

$$\sigma_{ik} = \left(-p + \lambda_1 \text{div} \vec{u} \right) \delta_{ik} + 2\mu_1 e_{ik} \quad (11)$$

$$e_{ik} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right) \quad (12)$$

Burada təzyiçə görə dalğa tənliyi aşağıdakı diferensial tənlik formasında alınır

$$\frac{1}{a_f^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \nabla^2 \left(p + \frac{4\mu}{3\rho_f a_f^2} \frac{\partial p}{\partial t} \right). \quad (13)$$

Örtüklərin oxasimmetrik hal üçün hərəkətinin diferensial tənlikləri Kirxhof-Lyav hipotezinə əsasən aşağıdakı şəkildə verilir

$$\rho_* h \frac{\partial^2 w_r}{\partial t^2} = p_t \left(1 - \frac{h}{2R}\right) + \frac{Eh}{2(1+\nu)} \frac{\partial^2 w_r}{\partial x^2} - \frac{Eh}{(1-\nu^2)} \left\{ \frac{w_r}{R^2} + \frac{\nu}{R} \frac{\partial w_r}{\partial x} \right\} \quad (14)$$

$$\rho_* h \frac{\partial^2 w_x}{\partial t^2} = q \left(1 - \frac{h}{2R}\right) + \frac{Eh}{(1-\nu^2)} \left\{ \frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\nu}{R} \frac{\partial w_r}{\partial x} \right\} \quad (15)$$

Hidroelastikliyin qapalı riyazi sistemi və ya məsələnin riyazi modeli (8), (13), (14) və (15) tənliklər sistemi hidroelastiklik məsələsinin riyazi qapalı tənliklər sistemini əmələ gətirir. Bu tənliklər sisteminin məchul funksiyaları p , u_r , u_x , w_r , w_x -lardır. Həmin məchulların birqiymətli təyin olunması üçün uyğun sərhəd və kontakt şərtləri verilməlidir. Tənliklər sisteminin həlli üçün müvafiq dinamik kontakt şərtlər və kinematik sərhəd şərtlərini ödəməlidir:

$$p_t = -\sigma_{rr} \Big|_{r=R-h/2} = -\left(-p - \frac{2}{3} \mu \operatorname{div} \vec{u} + 2\mu \frac{\partial u_r}{\partial r} \right)$$

$$q = -\sigma_{rx} \Big|_{r=R-h/2} = -\mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial x} \right)$$

Həmçinin həmin səth boyu kinematik sərhəd şərtləri doğru olur:

$$u_r \Big|_{r=R} = \frac{\partial w_r}{\partial t} \Big|_{r=R},$$

$$u_x \Big|_{r=R} = \frac{\partial w_x}{\partial t} \Big|_{r=R}.$$

Dördüncü fəslin ikinci yarım fəslində maye-qaz homogen özlü mühitin təzyiqə görə xəttləşdirilmiş dalğa tənliyinin həllini dəyişənlərinə ayrılan funksiyaların hasilı olmaqla aşağıdakı şəkildə axtarıyıq:

$$p = \operatorname{Re} \{ p^*(r) e^{kx + i\omega t} \}$$

Məsələnin fiziki mahiyyətinə əsasən $p^*(r)$ -in $r=0$ olduqda sonlu qiymət aldığı səbəbindən $C_0=0$ olmalıdır, odur ki,

$$p^*(r) = p_0 J_0(\lambda r)$$

Maye qaz qarışığının hissəciklərinin sürətləri üçün də analoji qaydada (8) və (9)-dan həllin axtarsaq,

$$u_r = \operatorname{Re} \left\{ u_r^*(r) e^{kx+i\omega t} \right\} \quad (16)$$

$$u_x = \operatorname{Re} \left\{ u_x^* e^{kx+i\omega t} \right\} \quad (17)$$

aşağıdakı həllər alınır

$$u_r^* = AJ_1(\beta r) - \frac{p_0 \lambda \left(1 + i \frac{\omega \mu}{3\rho_f a_f^2} \right)}{\mu(\beta^2 - \lambda^2)} J_1(\lambda r) \quad (18)$$

$$u_x^* = BJ_0(\beta r) - \frac{ip_0 k \left(1 + i \frac{\omega \mu}{3\rho_f a_f^2} \right)}{\mu(\beta^2 - \lambda^2)} J_0(\lambda r)$$

burada

$$\beta^2 = - \left(k^2 + i \frac{\rho_f \omega}{\mu} \right)$$

işarə olunan kompleks ədəddir.

Maye mühitin hal tənliyini (16) və (17) tənliklərini kəsilməzlik tənliyində nəzərə alsaq:

$$B = - \frac{i\beta}{k} A \quad (19)$$

Alınan həlləri ölçüsüz kəmiyyətlərdə ifadə edirik. A, B və P_0 sabitlər olmaqla məsələnin həllindən təyin edilmədir.

$$\begin{aligned} \bar{p}^* &= \bar{p}_0 J_0(\bar{\lambda} \bar{r}) \\ \bar{u}_r^* &= J_1(\bar{\beta} \bar{r}) \bar{A} - i \frac{\bar{\lambda} \bar{\omega} J_1(\bar{\lambda} \bar{r})}{K^2 + \bar{\lambda}^2} \bar{P}_0 \\ \bar{u}_x^* &= i \frac{\bar{\beta}}{K} J_0(\bar{\beta} \bar{r}) \bar{A} - \frac{K \bar{\omega} J_0(\bar{\lambda} \bar{r})}{K^2 + \bar{\lambda}^2} \bar{P}_0 \end{aligned} \quad (20)$$

$$\bar{\beta}^2 = -(K^2 + i \frac{\bar{\omega}}{\bar{\mu}})$$

$$\bar{\lambda} = -K^2 + \frac{\bar{\omega}^2}{\left(1 + i \frac{4\bar{\mu}\bar{\omega}}{3}\right) - K^2}$$

Burada a_t -boruda səsin yayılma sürətidir.

Örtüyün tənliyi ölçüsüz halda:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \bar{w}_r}{\partial \bar{t}^2} &= \bar{p}_t \left(1 - \frac{\bar{h}}{2}\right) + \frac{1}{\eta} \frac{\partial^2 \bar{w}_r}{\partial \bar{x}^2} - \bar{w}_r - \nu \frac{\partial \bar{w}_x}{\partial \bar{x}} \\ \frac{\partial^2 \bar{w}_x}{\partial \bar{t}^2} &= \bar{q} \left(1 - \frac{\bar{h}}{2}\right) + \frac{\partial^2 \bar{w}_x}{\partial \bar{x}^2} + \nu \frac{\partial \bar{w}_r}{\partial \bar{x}}. \end{aligned} \quad (21)$$

Örtüyün nöqtələrinin yerdəyişməsi örtük daxilindəki mayenin həyəcanlanmış hərəkətinin modası ilə axtarılır. Odur ki yerdəyişmələrin radial və oxboyu komponentləri radial koordinatın funksiyası ilə oxboyu koordinat və zamanın birlikdə funksiyasının hasili kimi axtarılır.

$$\begin{aligned} \bar{w}_r &= \bar{w}_r^* e^{i(Kx + \bar{\omega}_t \bar{t})} \\ \bar{w}_x &= \bar{w}_x^* e^{i(Kx + \bar{\omega}_t \bar{t})} \end{aligned} \quad (22)$$

Örtüyün daxili səthində normal və sürtünmə qüvvələri üçün kontakt şərtlərini nəzərə almaqla, örtüyün diferensial tənliklərinin yerdəyişmə komponentləri üçün aşağıdakı ifadələr alınır.

$$\begin{aligned} \bar{w}_r^* &= \bar{p}_t^* \frac{1 - \bar{h}/2}{\Phi} + \bar{q}^* \frac{\theta}{\Phi} \\ \bar{w}_x^* &= \bar{p}_t^* \frac{(-iK(1 - \bar{h}/2)\nu)}{\Phi(-K^2 + \bar{\omega}_t^2)} + \bar{q}^* \frac{[-i\nu K\theta + \Phi(1 - \bar{h}/2)]}{\Phi(-K^2 + \bar{\omega}_t^2)} \end{aligned}$$

burada

$$\begin{aligned} \Phi &= 1 - \bar{\omega}_t^2 + \frac{\nu^2 K^2}{(-K^2 + \bar{\omega}_t^2)} - \frac{\xi K^2 (-K^2 + \bar{\omega}_t^2)}{1 - \eta \xi (-K^2 + \bar{\omega}_t^2)} \\ \theta &= 1 - \bar{\omega}_t^2 + \frac{i\nu K(1 - \bar{h}/2)}{(-K^2 + \bar{\omega}_t^2)} - \frac{i\bar{h}K(1 - \bar{h}/2)}{2(1 - \eta \xi (-K^2 + \bar{\omega}_t^2))} \end{aligned}$$

Kinematik sərhəd şərtinin məchul əmsallar olan \bar{A} və \bar{P} üçün xətti bircins cəbri tənliklər alınır.

$$c_{11}\bar{A} + c_{12}\bar{P}_0 = 0$$

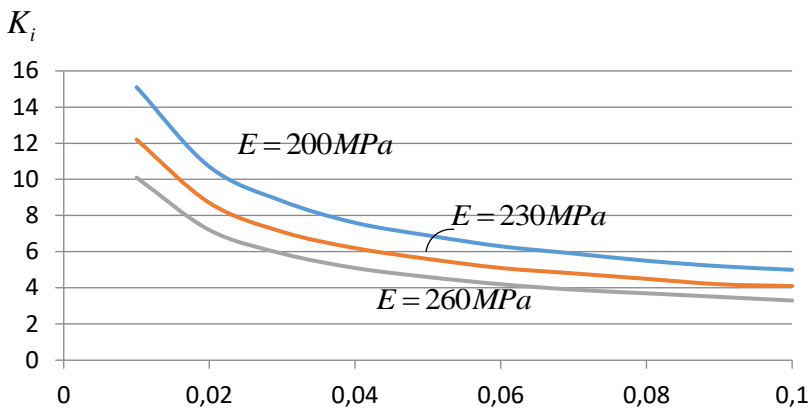
$$c_{21}\bar{A} + c_{22}\bar{P}_0 = 0$$

Tənliklər sisteminin qeyri trivial həlli olması üçün determinant sifıra bərabər olmalıdır.

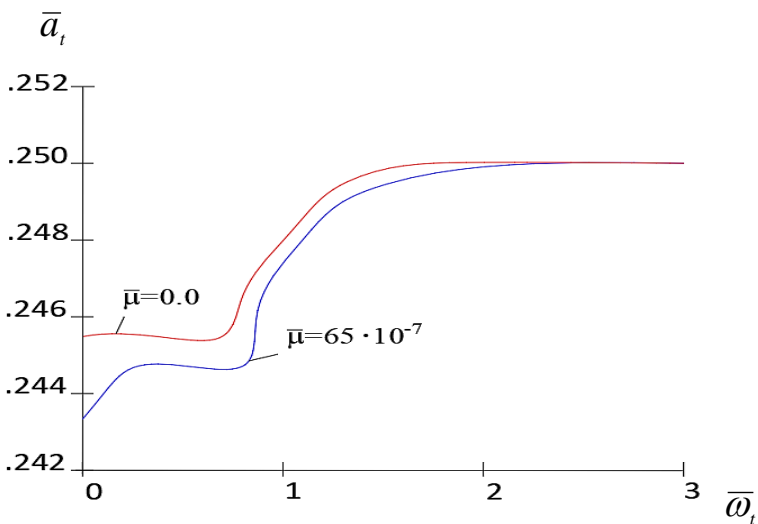
Dördüncü fəslin üçüncü yarım fəslində hidroelastiki sistemdə dalğanın yayılmasının riyazi modelləşməsi və sərhəd-kontakt şərtlərini nəzərə almaqla mayedəki təzyiq, maye hissəciklərinin sürətləri və örtüyün yerdəyişmələri üçün alınmış analitik düsturlarda birciymətli təyin olunması üçün determinantın sifıra bərabər olmasından alınan dispersiya tənliyi həll edilir. Həll prosesi K dalğa ədədinin həyəcanlanmaların ω tezliyindən asılı olaraq cəbri tənliyin həllinə gətirilir.

İkinci növ dalğalar və ya ω_R dalğalar halında dispersiya tənliyinin həlləri $\omega = \omega_R$ həqiqi müsbət ədəd olduğundan $\omega > 0$, $\omega_i = 0$. İxtiyari verilmiş ω üçün dörd ədəd kompleks $K(\omega)$ ədədləri alarıq. Bu dalğalar məsələdə maye-örtük sisteminin $x=0$ kəsiyində xarici mənbə tərəfindən yaradılır. $K_i(\omega)$ rəqslərin dekrementi və ya rəqslərin oxboyu böyüməsini xarakterizə edir. Alınmış həllərdə $K_R(\omega) < 0$ olarsa, rəqslərin fazası $a(\omega)$ sürəti ilə yayılır ($a(\omega) > 0$).

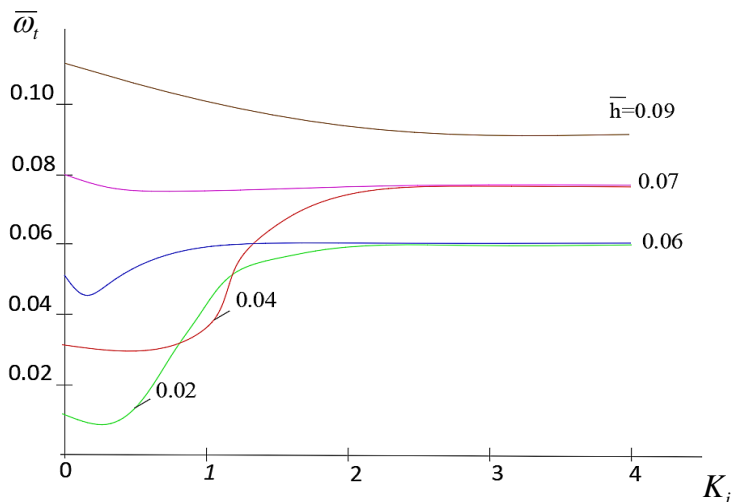
İkifazalı mühit olan qabarcıqlı mayelərin birsürətli hərəkət rejimlərində yaranan rəqslər yayılma istiqaməti boyu sönən akustik həyəcanlanmalar olur.



Şəkil 4. $E = 200 \text{ MPa}$; $E = 230 \text{ MPa}$; $E = 260 \text{ MPa}$, $\rho_* = 920 \text{ kq/m}^3$ qiymətləri üçün K_i -nin qabarcıqların konsentrasiyasından asılılığı.



Şəkil 5. Qarışıqın faza sürətinin tezıkdən asılılığı



Şəkil 6. Tezliyin qiymətinin örtük divarının qalınlığından asılılığı

Şəkil 6 - da tərkibində böyük qaz qabarcıqları olan maye qaz qarışığı ilə doldurulmuş örtüyün divarının qalınlığının örtüyün rəqslərinin ölçüsüz tezliyinin qiymətinə təsiri göstərilmişdir. Nəticədə örtüyün qalınlığı artdıqca, sərtliyinin artdığını və buna görə də qalın divarlı örtüyün tezliyinin nazik divarlı örtüyün tezliyindən daha yüksək olduğunu əks etdirir. Bu nəticə biomexanikanın öyrəndiyi obyektlər üçün - canlı orqanizmlər və bitkilər üçün xarakterikdir.

Nəticə

1. İkifazalı özlü mayenin deformasiya olunan elastiki örtüklərdə axınında müəyyən olunmuşdur ki, δ_0 -mühitdə qaz qabarcıqlarının vahid həcmi konsentrasiya əmsalı α_{20} dən asılı olaraq artır. . Ədədi hesablamalar örtük-ikifazalı mühit sistemində $\alpha_2 = 0.01 \div 0.1$ intervalında dəyişdiyi halları özündə əks etdirir.
2. İkifazalı maye mühitin (sıxılmayan xətti özlü maye və sıxılan qaz qabarcığı) elastiki silindrik boruda hərəkəti prosesində boruda dalğaların yayılma sürəti azalır, mayenin özlülüyünün hərəkətin xarakteristikalarına təsiri isə kiçik olur.
3. Özlü sıxılmayan maye və qabarcıqlı sferik fazanın silindrik özlü elastiki boruda pulsvari axınında yaranan dalğaların sürəti qabarcığın həcmi konsentrasiya əmsalından və borunun nisbi uzunluğundan asılı olaraq kiçilməsi, qarışıqın axın sürətinin isə artması göstərilmişdir.
4. Hesablamanın nəticələrinin müqayisəsi göstərir ki, “ortotrop elastiki boru- özlü maye qarışığı” sistemi vasitəsilə ötürülən dalğaların dispersiyasının çevik elastiki örtüklərin divarlarının fiziki xassələrindən- mayenin özlülüyündən asılı olur. Böyük tezliklərdə örtüyün elastikliyi üstünlük yaratdığı hərəkət forması, kiçik tezliklərdə dalğanın yayılması qabarıq olur.
5. Mühitin fiziki parametrlərindən asılı olaraq sürətin, yerdəyişmənin, sıxlığın və hidrodinamiki təzyiqin qiymətində ikifazalı mühitdə qabarcıqların həcmi konsentrasiya əmsalı artdıqca, kifayət qədər dəyişiklik hiss olunur.
6. Müəyyən edilmişdir ki, daşıyıcı fazanın sıxlığının və stasionar qiymətdən etibarən axının sürətinin artımı, həmin stasionar qiymətdən başlayaraq, təzyiq düşgüsü və örtüyün divarının radial yerdəyişməsinin qiymətlərində azalma baş verir.
7. Göstərilmişdir ki, sükunətdə olan maye ilə doldurulmuş böyük uzunluqlu silindrik elastik örtükdə kiçik həyəcanların yayılması zamanı oxun müsbət istiqamətində yaranan dalğanın yayılma sürəti, faza sürətinə çevrilir. Bu hal sönmə rejimində həyəcanlanma amplitudunun faza sürətinin və rəqs fazasının yayılma istiqamətində olduğu rejimə müvafiq olur.

Dissertasiyanın əsas nəticələri aşağıdakı işlərdə dərc olunmuşdur:

1. Əkbərli, R.S. Özlü qabarcıqlı mayelərlə doldurulmuş deformasiyalanan boruda dalğalar // Azərbaycan xalqının Ümummilli Lideri H. Əliyevin anadan olmasının 90 illiyinə həsr olunmuş “Riyaziyyat və Mexanikanın Aktual Problemləri” adlı Elmi Konfransın materialları, –Bakı: -2013, -s. 63-64
2. Əkbərli, R.S. Özlü-elastik boruda sıxılmayan qabarcıqlı mayenin pulsvari hərəkəti // AMEA-nın müxbir üzvü, f.r.e.d., prof. Y.Ə.Əmənzadənin 100-illik yubileyinə həsr olunmuş “Mexanikanın klassik və müasir problemləri” adlı Respublika Elmi Konfransının Materialları, –Bakı: -2014, -s. 77-78
3. Əkbərli, R.S., Salmanova G.M., Pənahova S.Q. Deformasiyalanan boruda özlü mayenin hərəkəti zamanı yaranan xətti dalğalar // Riyaziyyatın nəzəri və tətbiqi problemləri beynəlxalq elmi konfrans, -Sumqayıt: -2017, -s. 110-111
4. Əkbərli, R.S. Özlü-elastik boruda sıxılmayan qabarcıqlı mayenin plusvari hərəkəti // Bakı Dövlət Universitetinin Xəbərləri, -2014. №3, -s. 79-85
5. Əkbərli, R.S. Deformasiya olunan boruda hərəkət edən mayelərdə yaranan dalğaların yayılması prosesi / Əkbərli, R.S., Salmanova, G.M. // Nəzəri və tətbiqi mexanika jurnalı, -Bakı: -2015. №2, -s. 20-23
6. Əkbərli, R.S. Nazikdivarlı elastiki silindirik örtükdə mayedəki kiçik amplitudlu dalğaların yayılması / Əkbərli, R.S., Əliyev, A.B. // Nəzəri və Tətbiqi mexanika, Ali məktəblər arasındakı elmi-texniki jurnal, -Bakı: -2017, №1-2
7. Əkbərli, R.S. Özlü elastiki boruda özlü mayenin hərəkəti zamanı yaranan xətti dalğalar/ Əkbərli, R. S., Əliyev A. // AzMİU-nun Elmi Əsərlər jurnalı, -Bakı:–2017. №1, -s. 64-69
8. Əkbərli, R.S. Qeyri bircins mayenin boruda hərəkətinə boru divarında yaranan çöküntünün təsiri / Əkbərli, R.S., Əliyev, A., Kiyasbəyli, E. // Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti Elmi Əsərlər, -Bakı: –2017. №1, -s. 60-64
9. Əkbərli, R.S., Sevdimaliyev, Y.M., Salmanova G.M. Sıxılmayan qabarcıqlı özlü mayenin özlü-elastiki boruda rəqsi hərəkəti //

AMEA-nın həqiqi üzvü, f.r.e.d., prof., Məcid Lətif oğlu Rəsulovun 100-illik yubileyinə həsr olunmuş “Nəzəri və tətbiqi riyaziyyatın aktual məsələləri” Respublika elmi konfransının materialları, -Şəki: -2016, -s. 272-273

10. Акперли, Р.С. Распространения волн в жидкостях, протекающих в деформированных трубах / Акперли, Р.С., Salmanova, G.M. // Актуальные направления научных исследований XXI века-теория и практика, -2019. №1(44) (Volume7, issue1), -с. 343-345
11. Акперли, Р.С., Sevdimaliyev, Y.M., Salmanova, G.M. Пульсирующее течение двухфазной сжимаемой вязкой жидкости в вязко-упругой трубе // XVIII Международная конференция-Моделирование и исследование устойчивости динамических систем, -Киев(Украина): -2017 мая 24-26, -с 135
12. Акперли, Р.С. Волновое движение пузырьковой вязкой жидкости в вязкоупругой трубе / Акперли, Р.С., Киясбейли, Э.Т. // Bakı Dövlət Universitetinin Xəbərləri, -2019. №3, -s. 74-81
13. Акперли, Р.С. Распространение волн в жидкости, протекающей в упругой трубе // Azərbaycan xalqının Ümummilli Lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 92-ci ildönümünə həsr olunmuş “Riyaziyyat və Mexanikanın Aktual Problemləri” adlı Elmi Konfransının materialları –Bakı: -2015, -s. 100-102
14. Акперли, Р.С. Пульсирующее течение несжимающей вязко-упругой жидкости в упругой трубке / Акперли, Р.С., Алиев, А.Б., Киясбейли, Э.Т. // Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti Elmi Əsərlər, -2019. №1, -s. 221-229
15. Акперли, Р.С. Распространение волн в жидкости, протекающей в упругой трубе // Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації» Вип.59, -Переяслав, -2020, -с. 478-480
16. Akbarly, R.S. Pulsational motion of a mixture in a vibrating medium with consider flow rate / Akbarly, R.S., Salmanova,

- G.M. // International journal on technical and physical problems of engineering, (IJTPE) Issue, -31 Volume, -9 Number, -2017 June 2, -Serial No: 0031-0902-0617
17. Akbarly, R.S., Salmanova, G.M. Pulsational motion of a mixture in a vibrating medium // III Міжнародна конференція «розвиток науки у вік інформаційних технологій», -м.Київ: - 2017 вересня 30, -с. 52-54
 18. Akbarly, R.S. The mathematical analysis of the hydrodynamic characteristics of a shell-liquid system with spherical air bubbles / Akbarly, R.S., Salmanova, G.M. // International scientific journal Science and World, -Volgograd: -2017. №7(47), -с. 8-14
 19. Akbarly, R.S. Waves propagation in the fluid flowing in an elastic tube, considering viscoelastic friction of surrounding medium // International Journal on technical and physical problems of engineering (IJTPE) Issue, 35 Volume, 10 Number, - 2018 June 2, -p. 39-42
 20. Akbarly, R.S. Features of the behavior of gas-liquid mixture tubes // The 15th International Conference on Technical and Physical Problems of Electrical Engineering, -Istanbul(Turkey): - 2019 october 14-15, -p. 203-205
 21. Akbarly, R.S. Positional motion of a mixture in a vibrating medium / Akbarly, R.S., Salmanova, G.M., Nagieva, N.M // «Тенденции и перспективы развития науки и образования в условиях ГЛОБАЛИЗАЦИИ», 2019 мая 31, - года Вып.47, -с. 424-426
 22. Akbarly, R.S., Sevdimaliyev, Y.M., Salmanova, G.M. Mathematical Analysis for a Condition of the Hydrodynamic Characteristics 8Th international Eurasian Conference On Mathematical Sciences And Applications, -Baku: -2019.
 23. Akbarly, R.S. Features of the behavior of gas-liquid mixture tubes // International Journal on Technical And Physical Problems Of Engineering (IJTPE) -2020. -Issue 43Vol.12, №2, - p. 71-77

Dissertasiyanın müdafiəsi **11 yanvar 2022**-ci il tarixində saat **12⁰⁰**-da Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən BFD 2.17/1 birdəfəlik Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: AZ1148, Bakı şəhəri, Z.Xəlilov küç., 23

Dissertasiya işi ilə Bakı Dövlət Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq olar.

Dissertasiya işi və avtoreferatın elektron versiyaları Bakı Dövlət Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat **09 dekabr 2021**-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 19.10.21
Kağızın formatı: 60x84 1/16
Həcm: 37497
Tiraj: 100