

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

YÜKSƏK KEYFİYYƏTƏ MALİK BİRBORULU REZONATOR ƏSASINDA VİBRASIYA-TEZLİK SIXLIQÖLÇƏNİ

İxtisas: 3337.01- İnformasiya-ölçmə və idarəetmə sistemləri
(texnoloji ölçmə)

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Bəhruz Qurban oğlu Əmiraslanov**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

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

Sumqayıt - 2022

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin Avtomatika və Elektronika kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: texnika elmləri doktoru, professor
Səlahəddin İmaməli oğlu Yusifov

Rəsmi oponentlər: texnika elmləri doktoru, professor
Tofiq İbrahim oğlu Süleymanov

texnika elmləri doktoru, dosent
Namiq Tahir oğlu Abdullayev

texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Aidə İsmayıl qızı Quliyeva

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Sumqayıt Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən FD.2.25 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya Şurasının sədri: texnika elmləri doktoru, professor
_____ **Aqil Həmid oğlu Hüseynov**

Dissertasiya şurasının katibi: texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
_____ **Turqay Kilim oğlu Hüseynov**

Elmi seminarın sədri: texnika elmləri doktoru, professor
_____ **Əli Həsən oğlu Nağıyev**

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Sənayenin bir sıra sahələrində, o cümlədən neft sənayesində neft məhsullarının çıxarılması, uçotunun aparılması, neftin borularla nəql edilməsi zamanı miqdarının ölçülməsinə qoyulan tələblər yüksəlmişdir. Bununla yanaşı, neft məhsullarının sıxlıqlarının təyin edilməsinin dəqiqliklə aparılmasında yeni-yeni cihaz və qurğuların yaradılması və tətbiqini aktual etmişdir. Axında boru vasitəsilə neft məhsullarının nəqli zamanı sıxlığın ölçülməsi, kəsilməz istehsalat rejimində mayenin sıxlığının avtomatik ölçülməsinin çox kiçik xəta ilə təyin edilməsi tələb olunur. Tətbiq olunan sıxlıqölçənlər texnoloji proseslərin avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərində (TPAİS) ölçməni dəqiqliklə, kiçik xətalara təmin edilməsini istismar şəraiti çətin olan, çoxçirkli şəraitlərdə, vibrasiyaların olduğu, temperaturun dəyişdiyi, mayələrin özlülüyünün olduğu mühitində və s. sahələrdə yerinə yetirir.

Maye mühitində axın sıxlıqölçənləri qida, kimya, neftkimya və digər sənaye sahələrində TP AİS informasiya-ölçmə mübadiləsi zamanı əsas qovşaqlardan hesab olunur. İnformasiya-ölçmə sistemlərində (İÖS) axın sıxlıqölçənləri vasitəsilə sıxlığın ölçülməsi metodları arasında vibrasiya-tezlik metodu daha geniş tətbiq tapmışdır. Birinci növbədə bu vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənlərinin (VTS) ölçmə çeviricilərində sıxlığın ölçülməsinin birbaşa tezlik signalına çevrilməsi ilə izah edilir. Bununla əlaqədar vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənləri bütün maye sıxlıqölçənlərinin digər növləri ilə müqayisədə analoq çeviricili cihazlardan üstünlük təşkil edir. VTS-nin ölçmə dəqiqliyini təyin edən əsas parametri onun həssas elementinin keyfiyyətidir. Həssas element kimi rəqsi hərəkət edən lövhə, örtük, çubuq, membran, boru və s. mexaniki rezonatorlardan istifadə olunur. Bu mexaniki rezonatorlar paylanmış və mərkəzə toplanmış parametrlərlə mexaniki rəqsi sistemin işini təşkil edir. Bu baxımdan paylanmış parametrlili boruvari rezonatorlar daha yüksək keyfiyyətə malikdirlər, ona görə də geniş yayılmışlar. Boruvari rezonatorlar da öz növbəsində birborulu və ya ikiborululara (kamerton) bölünürlər. Kamerton rezonatorlu sıxlıqölçənlər

birborulu rezonatorlu sıxlıqölşənlərlə müqayisədə daha yüksək keyfiyyətə malikdirlər. Kamerton rezonatorlu sıxlıqölçənlərin hazırlanmasının mürəkkəb olması aparıcı vibrasiya-tezlik sıxlıqölçəni istehsalçıları seriyalı istehsalda hazırlanması daha sadə və istismarı rahat olan birborulu rezonatorlu sıxlıqölçənlərin istehsalına keçmişlər. Bununla yanaşı istifadə olunan birborulu rezonatorların keyfiyyəti parametrlərinə görə kamerton tipli rezonatorlardan hələlik kifayət dərəcədə geri qalırlar.

Qeyd etmək lazımdır ki, sənaye sahəsində sıxlıqölçənlərin tətbiq sahəsinin genişlənməsi onların iş şəraitinin əhəmiyyətli dərəcədə çətinləşməsinə səbəb olmuşdur. Hər şeydən əvvəl, temperaturun, təzyiqlərin, vibrasiya səviyyəsinin və bir sıra digər təsir edən amillərin diapazonunun əhəmiyyətli dərəcədə genişlənməsini qeyd etmək lazımdır. Sıxlıqölçənlərə qoyulan tələblər onların yüksək dərəcədə çirklənmiş mayelərlə və eləcə də, tərkibində əlavə komponentləri olan mayelərlə (sərbəst su, mexaniki daxilolmalar və s.) işləmək qabiliyyəti baxımından artmışdır. Bu sahədə dünya miqyasında Böyük Britaniyanın Solarton, Yaponiyanın Yokoqava və s. şirkətləri aparıcı yerlərdən birini tutur. Azərbaycanda Neftkimyaavtomat EİB-nin AİP sıxlıqölçəni MDB ölkələri içərisində uğura tətbiq olunur. Y.K.Taranenko, Y.P.Jukov, V.V.Navrotski, A.Q.Muraşov, M.V.Kulakov kimi alimlərin tədqiqatları ilə yanaşı Azərbaycan alimləri T.K.Hüseynov və N.A.Abdulovanın tədqiqatları yer almışdır. Bu gün də bu sahədə tədqiqatlar davam edir.

Yuxarıda göstərilənlərlə əlaqədar, elmi əsaslandırılmış prinsip quruluşlu, forma və konstruksiyalı birborulu keyfiyyəti yüksəldilmiş rezonatorların axtarılması və onların əsasında yüksək dəqiqlikli maye sıxlıqölçənlərin işlənməsi aktual elmi-texniki və texnoloji məsələdir.

Dissertasiya işinin məqsədi: Dissertasiya işinin məqsədi TP AİS-də informasiya-ölçmə sistemində maye mühitində vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənlərinin birborulu rezonatorunun işlənməsi və tədqiqinə həsr edilmişdir.

Dissertasiya işinin elmi yeniliyi. İşin gedişində elmi yeniliyi ilə fərqlənən aşağıdakı əsas nəticələr müdafiəyə çıxarılır:

1. elektromexaniki analogiyalar metodundan istifadə etməklə keyfiyyəti yüksəldilmiş birborulu rezonatorun formasının sintezi.

2. pilləvari-dəyişən en kəsikli birborulu rezonatorun riyazi modelinin işlənməsi.

3. verilmiş mütləq həssaslıqlı və yüksək keyfiyyətə malik pilləvari-dəyişən en kəsikli birborulu rezonatorun hesabının mühəndis metodikasının işlənməsi.

4. sıxlığın ölçülməsi dəqiqliyinə təsir edən əsas destabilləşdirici faktorların (temperatur, təzyiq və sıxlığı ölçülən mayenin axın sürəti) aşağı salınmasını təmin edən pilləvari-dəyişən en kəsikli birborulu rezonatorun qurulma prinsipləri.

Tədqiqat üsulları. Aparılmış tədqiqatların bazasını riyazi fizika, elektromexaniki analogiyalar nəzəriyyəsi, rəqslər nəzəriyyəsi və informasiya-ölçmə texnikasının nəzəri əsasları təşkil edir.

Alınmış nəticələrin etibarlılığı qoyulmuş məsələnin riyazi dəqiqliklə, ciddi analitik metodlarla alınmış analitik formullarla xüsusi hallarda ədəbiyyatlarda məlum olan ədədi nəticələrin müqayisə edilməsi təmin edilmişdir.

Dissertasiya işinin praktiki əhəmiyyəti. Dissertasiya işində işlənmiş pilləvari-dəyişən en kəsikli birborulu rezonatorun parametrlərinin hesabının mühəndis metodikası, layihələndirmə mərhələsində, rezonatorun yüksək keyfiyyətinin təmin edilməsi üçün onun dayaqlara düşən reaktiv qüvvələrn və rezonatorun hazırlanma materialının və verilmiş mütləq həssaslığın təmin edilməsi şərti nəzərə alınmaqla, onun həndəsi ölçülərinin təyin edilməsinə imkan verir.

Konstruksiyası hazırlanmış və mexaniki rəqsi sistemin keyfiyyətinin ölçülməsi üçün hazırlanmış cihaz vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənləri və eləcə də digər mexaniki vibrasiya vericiləri eksperiment tədqiqatları aparılması üçün istifadə oluna bilər.

Dissertasiya işinin nəticələrinin reallaşdırılması. Dissertasiya işi Azərbaycan Neft və Sənaye Universitetinin "Elektronika və avtomatika" kafedrasının problem laboratoriyasının elmi tədqiqat işlərində yerinə yetirilmişdir.

Bilavasitə müəllifin iştirak etdiyi apalınmış nəzəri və praktiki tədqiqatlar əsasında işlənmişdir:

-Vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənləri üçün yüksək keyfiyyətli yeni pilləvari-dəyişən en kəsikli rezonator hazırlanmışdır. Elmi tədqiqatların nəticələri Azərbaycan Neft və Sənaye Universitetinin (Bakı şəhəri) və Sumqayıt Dövlət Universitetinin (Sumqayıt şəhəri) laboratoriya və tədris-metodiki işlərində tətbiq edilmişdir.

-Birborulu rezonator əsasında vibrasiya-tezlik sıxlıqölçəninin rezonatorunun mexaniki rəqsi sisteminin keyfiyyətini ölçən cihaz “Neftkimyaavtomat” elmi müəssisəsinin (Sumqayıt şəhəri) və “Suraxanineft” neft və qazsıxarma idarəsinin obyektlərində tətbiq olunmuşdur.

Bundan əlavə, alınmış nəticələr əsasında sənayenin müxtəlif sahələrində tətbiqi və elmi tədqiqatların nəticələrinə görə maye mühitinin sıxlığının ölçülməsi üçün Azərbaycan Respublikasının patentləri alınmışdır (N98/001013,12.06.97, G01 N 9/04 və İ 2008 0025, 28.01.2008 (Azərbaycan)).

Müdafiyyə təqdim olunan əsas nəzəri və eksperiment tədqiqatlar:

-keyfiyyəti yüksəldilmiş pilləvari-dəyişən en kəsikli birborulu rezonatorun riyazi modeli;

-rezonatorun dayağa birləşmə yerlərinə düşən reaktiv qüvvənin və eləcə də korpusa birləşmə yerlərində rəqsi enerjinin itkilərinin minimumlaşdırılması şərti;

-rezonatorun korpusa birləşmə yerlərində rəqsi enerjinin minimumlaşdırılması nəticəsində keyfiyyətin yüksəldilməsi və verilmiş mütləq həssaslığın təmin edilməsi şərtilə, layihələndirmə mərhələsində rezonatorun rasionel parametrlərin təyin edilməsi metodikası;

-vibrasiya-tezlik maye sıxlıqölçəni üçün pilləvari-dəyişən en kəsikli birborulu konstruksiyasının işlənməsi;

Dissertasiya işinin aprobasiyası. Dissertasiyanın əsas nəticələri aşağıdakı konfranslarda məruzə edilmiş, dinlənilmiş və müzakirə olunmuşdur:

Beynəlxalq elmi-texniki konfrans «Measurement and control of granular materials (MCGM'97) », Şanxay, Çin X.R., 1997;

Beynəlxalq elm-texniki konfrans «Machine Design and Production Conference (UMTIK'98) », Ankara, Türkiyə, 1998;

Beynəlxalq elmi-texniki konfrans «Measurement and control of granular materials (MCGM'2000) », Şanxay, Çin X.R., 2000;

Beynəlxalq konfrans «Problems of cybernetics and informatics» (Bakı ş, Azərbaycan, 2008);

Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия», Novosibirsk, Rusiya, 2014;

Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans «Современные концепции научных исследований», Москва ş, Rusiya, 2014;

Beynəlxalq elmi-texniki konfrans «Прикладная наука как инструмент развития нефтехимических производств», Salavat ş, Rusiya, 2017;

International Scientific and Technical Conference: SES-2019, Kazan ş., Rusiya, 2019;

Beynəlxalq elmi-texniki konfrans "Пром-Инжиниринг", Soçi ş., Rusiya, 2021;

III International conference MIP: engineering-2021: Advanced technologies in material science, mechanical and automation engineering, Krasnoyarsk ş., Rusiya, 2021;

eləcə də:

Respublika elmi-praktiki konfransın tezisləri «Ecology and Progress», Sumqayıt ş., Azərbaycan, 1999;

Respublika elmi konfransın tezisləri «Охрана жизнедеятельности», Sumqayıt ş., Azərbaycan, 1998;

Respublika elmi konfransının tezisləri «Современные проблемы информатизации, кибернетики и информационных технологий», Bakı ş., Azərbaycan, 2004;

Respublika elmi konfransının tezisləri «Aspirantların və gənc tədqiqatçıların IX və XI Respublika elmi konfransının materialları », Bakı ş., Azərbaycan, 2003 və 2006 ;

Respublika elmi konfransının tezisləri «Riyaziyyatın tətbiqi məsələləri və yeni informasiya texnologiyaları», Sumqayıt ş., Azərbaycan, 2007;

İnformasiya sistemləri və texnologiyalar: nailiyyətlər və perspektivlər. Beynəlxalq elmi konfransın materialları, Sumqayıt ş., Azərbaycan, 2018 və 2020;

Dissertasiya işinin strukturu və həcmi. Dissertasiya işi girişdən, dörd fəsildən, nəticədən, ədəbiyyat siyahısından və əlavələrdən ibarətdir. İş 175 səhifədə təqdim edilir, tərkibində 50 şəkil və 11 cədvəl, 149 adda ədəbiyyat siyahısı vardır.

Dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiyanın ümumi həcmi istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısını və əlavələri nəzərə alınmadan 162 269 işarədir. Dissertasiyanın girişində 12 881 işarə, 1-ci fəsilində 46 434 işarə, 2-ci fəsilində 20 969 işarə, 3-cü fəsilində 20 287 işarə, 4-cü fəsilində 53 214 işarə vardır.

Dissertasiya işinə dair nəşrlər: Dissertasiya mövzusunə aid 14 məqalə, 20 tezis və 2 patent (ixtira) dərc olunmuşdur.

Girişdə aparılan tədqiqat işinin aktuallığı əsaslandırılır, işin məqsədi formalaşdırılır, eləcə də dissertasiyanın əsas elmi nəticələri sadalanmış, tədqiqat nəticələrinin tətbiq sferaları göstərilmiş və praktiki əhəmiyyəti, və eləcə də müdafiyyə təqdim olunan əsas müddəalar verilmişdir.

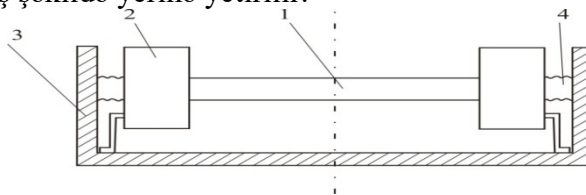
Birinci fəsildə sıxlığı avtomatik ölçən müasir maye axın sıxlıqölçənlərinə qoyulan əsas tələbatlar formalaşdırılır və bu tələbatları təmin edən vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənlərinin perspektivləri əsaslandırılır. Nəticədə, vibrasiya sıxlıqölçənlərinin vəziyyətlərinin analizi nəticəsində qapalı tipli kamerton rezonatorlu sıxlıqölçənlər ən yaxşı xarakteristikaya malikdirlər, lakin seriyalı istehsalatda onların qəbuledilməz olması praktikada onların daha aşağı keyfiyyətli, sadə birborulu rezonatorları ilə əvəz edilməsi tələb olunur. Bununla əlaqədar vibrasiya sıxlıqölçənlərinin yeni forma və konstruksiyalı yüksək keyfiyyətli birborulu rezonator əsasında axtarılması aktual məsələdir.

İkinci fəsil pilləvari-dəyişən en kəsikli birborulu rezonatorun riyazi modelinin tədqiqi və işlənməsinə həsr olunmuşdur. Vibrasiya-tezlik maye sıxlıqölçənlərinin işlənməsi

sahəsində aparılmış analizlər göstərir ki, hal-hazırda boru şəkilli rezonatorların sintezinin iki metodunu ayırmaq olar: evristik sintez və elektromexaniki analogiyalar metodundan istifadə etməklə sintez. Rezonatorun formasının sintez olunmasının elmi əsaslandırılması imkanları göstərir ki, elektromexaniki analogiyalar metodu ilə sintez aparmaq daha məqsəduyğundur. Bu metoda əsasən alqoritmin sintez olunması aşağıdakı kimidir:

1. yeni formanın sintezi zamanı bu metoda əsaslanan rezonatorun seçilməsi ;
2. seçilmiş rezonatorun toplanmış parametrlərlə xətti modelinin işlənməsi;
3. rezonatorun mexaniki modelinin elektrik analogunun işlənməsi;
4. elektrik analogunun rəqsi enerjisi kəmiyyətinin minimuma endirilməsinin təmin edilməsi məqsədilə elektrik analogunun və onun təkmilləşdirilməsinin analizi;
5. analogun təkmilləşdirilməsi sxeminə uyğun keyfiyyəti yüksəldilmiş rezonatorun xətti mexaniki modelinin işlənməsi;
6. rezonatorun xətti mexaniki modelinə görə onun yeni formasının təqdim olunması.

Verilmiş alqoritmə uyğun rezonatorun yeni formasının sintez olunması məqsədilə birborulu götürülür və eynicinsli, düz boru şəkilli 1 hazırlanır (şəkil 1), borunun sonları dayaqalara 2 bərkidilmiş şəkildə yerinə yetirilir.

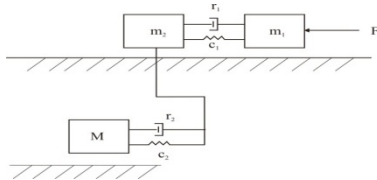


Şəkil 1. Sinte edilən rezonatorun ilkin forması

Rezonator 4 çevik elementləri vasitəsilə 3 bünövrəsi ilə əlaqələndirilmişdir, bu elementlər vasitəsilə mayenin daxil və xaric edilməsi yerinə yetirilir və onun vəziyyətinin qeydə alınması 5 həssas lövhə ilə həyata keçirilir. Rezonatorun mərkəzə nəzərən ikiqat simmetriya təşkil etməsini nəzərə alaraq, onun yarısından bir

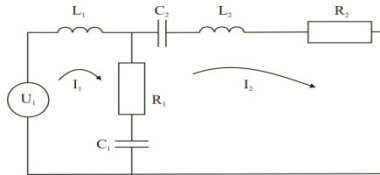
tərəfini götürərək həmin yarısı üçün mexaniki modelini qururuq (Şəkil 2). Borunun götürdüyümüz yarım hissəsinin rəqsi hərəkətdə olan kütləsini m_1 , dayağın kütləsini m_2 , bünövrənin kütləsini isə M adlandıraraq. Kütlələr öz aralarında elastiki-lövəhəli qarşılıqlı təsir altında olur. Verilmiş modeldə bu qarşılıqlı təsirlər mexaniki müqavimətlər r_1 və r_2 olan c_1 və c_2 elastik elementlərlə əvəz olunurlar.

Elektromexaniki analogiyalar metoduna görə modelin elektrik analoqu (şəkil 2) kontur sistemidir, bu da şəkil 3-də göstərilmişdir.



Şəkil 2. Toplanmış parametrlərlə ilkin sintez edilən rezonatorun mexaniki modeli

Mexaniki güc F elektrik analoqunda ekvivalent gərginlik mənbəyi ilə əvəz edilir.



Şəkil 3. İlkin sintez olunan rezonatorun toplanmış parametrləri ilə mexaniki modellərinin elektrik analoqları

Bünövrənin kütləsi M borunun və dayağın kütləsindən çox böyük olduğundan L_M induktivliyini nəzərə almamaq olar. Hal-hazırda dayaqlardakı itkilər R_2 müqavimətdən keçən I_2 cərəyanına proporsional olan R_2 müqavimətində enerjinin itkisinə uyğun gəlir. Konturlar cərəyanları üsulundan istifadə edərək bunun üçün növbəti aşağıdakı işarələməni qəbul edək:

$$z_{11} = j\omega l_1 + \frac{1}{j\omega c_1} + R_1, \quad z_{12} = \frac{1}{j\omega c_1} + R_1$$

$$z_{21} = z_{12}, \quad z_{22} = \frac{1}{j\omega c_1} + R_1 + j\omega l_2 + \frac{1}{j\omega c_2} + R_2$$

Tənliklər sistemi cərəyanın hazırkı qiymətləri üçün aşağıdakı kimi olar:

$$\begin{cases} I_1 z_{11} - I_2 z_{12} = U \\ -I_1 z_{12} + I_2 z_{22} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Onda I_2 cərəyanının qiyməti:

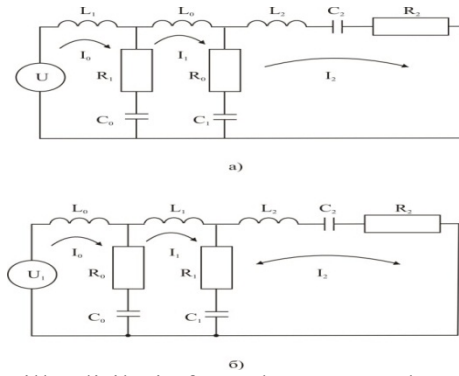
$$\Delta z = \begin{vmatrix} z_{11} & -z_{12} \\ -z_{12} & z_{22} \end{vmatrix}; \quad (2)$$

$$I_2 = \frac{1}{\Delta z} = \frac{\begin{vmatrix} z_{11} & U \\ -z_{12} & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} z_{11} & -z_{12} \\ -z_{12} & z_{22} \end{vmatrix}} = \frac{U z_{12}}{z_{11} z_{22} - z_{12}^2}; \quad (3)$$

$$z_{11} z_{22} - z_{12}^2 \neq 0$$

(3) ifadəsindən nəticə çıxarıyıq ki, I_2 cərəyanının kəmiyyəti kiçik olduqca (3) kəsrinin məxrəci böyük olar. Belə olanda I_2 cərəyanının azaldılmasının ən rəşional üsul z_{22} müqavimətinin artırılmasıdır, yəni daha dəqiq desək l_2 artırılmasıdır, çünki R_1 və C_1 rezonator adlanan borunun parametrlərinə uyğundur. Belə ki, bu parametrlər ölçmə şərtlərinin sonunda seçilir və verilmiş həssaslığı dəyişdirilə bilməz. R_2 -in artması dayaqlarda enerjinin itkisinin artmasına gətirib çıxarır, C_2 -nin azalması isə konstruktiv mülahizələrə görə seçilən birləşdirici elementlərin sərtliyinin azaldılmasına uyğundur. I_2 cərəyanının azaldılmasının digər yolu mövcuddur ki, bu da sxemə $L_0 - R_0 - C_0$ əlavə dövrənin daxil edilməsidir. Belə olanda əlavə dövrənin daxil edilməsi üçün iki

variant mümkündür: $L_1 - R_1 - C_1$ qarşısında (Şəkil 4a) və ya dövrələrarası $L_1 - R_1 - C_1$ və $L_2 - R_2 - C_2$ (Şəkil 2.4b). Hər bir variantı ayrı-ayrılıqda tədqiq edirik.



Şəkil 4. Təkmilləşdirilmiş formalı rezonatorlarının toplanmış parametrləri ilə mexaniki modellərinin elektrik analogları

Variant I. Əvvəlki halda olduğu kimi aşağıdakı adlandırmanı qəbul edək :

$$z_{00}^* = j\omega l_0 + \frac{1}{j\omega c_0} + R_0, \quad z_{01}^* = R_0 + \frac{1}{j\omega c_0}$$

$$z_{10}^* = z_{01}^*, \quad z_{11}^* = R_0 + \frac{1}{j\omega c_0} + L_1 + R_1 + \frac{1}{j\omega c_1}$$

$$z_{12}^* = R_2 + \frac{1}{j\omega c_2}, \quad z_{21}^* = z_{12}^*$$

$$z_{22}^* = R_2 + \frac{1}{j\omega c_1} + L_2 + R_3 + \frac{1}{j\omega c_2}$$

Tənliklər sistemini cərəyanın hazırki qiymətləri üçün tərtib edirik:

$$\begin{cases} I_0 z_{00}^* - I_1 z_{01}^* = U \\ -I_0 z_{01}^* + I_1 z_{11}^* - I_2 z_{12}^* = 0 \\ -I_1 z_{12}^* + I_2 z_{22}^* = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Onda I_2 cərəyanının qiyməti :

$$\Delta z = \begin{vmatrix} z_{00}^* & -z_{01}^* & 0 \\ -z_{01}^* & z_{11}^* & z_{12}^* \\ 0 & -z_{12}^* & z_{22}^* \end{vmatrix}; \quad (5)$$

$$I_2 = \frac{1}{\Delta z} = \frac{\begin{vmatrix} z_{00}^* & -z_{01}^* & U \\ -z_{01}^* & z_{11}^* & 0 \\ 0 & -z_{12}^* & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} z_{00}^* & -z_{01}^* & 0 \\ -z_{01}^* & z_{11}^* & z_{12}^* \\ 0 & -z_{12}^* & z_{22}^* \end{vmatrix}} = \frac{U z_{01}^* z_{12}^*}{z_{00}^* (z_{11}^* z_{22}^* - z_{12}^{*2}) - z_{01}^{*2} z_{22}^*} \quad (6)$$

Şəkil 3 və Şəkil 4-dəki sxemləri öz aralarında müqayisə edərək görürük ki,

$$\begin{aligned} z_{11} &= z_{11}^* - z_{01}^* \\ z_{12} &= z_{12}^* \\ z_{22} &= z_{22}^* \end{aligned}$$

Onda (3) və (6) ifadələrini aşağıdakı formada təsvir etsək :

$$I_2 = \frac{U z_{01}^* z_{12}^*}{z_{00}^* (z_{11}^* z_{22}^* - z_{12}^{*2}) - z_{01}^{*2} z_{22}^*},$$

$$I_2 = \frac{U z_{12}}{z_{11}^* z_{22} - z_{01}^* z_{22} - z_{12}^2}$$

İkinci kəsrin surət və məxrəcini z_{01} -ə vuraraq I_2 / I_2^* əlaqəsini tapırıq:

$$\frac{I_2}{I_2^*} = \frac{z_{00}^* (z_{11}^* z_{22} - z_{12}^2) - z_{01}^{*2} z_{22}}{z_{01}^* (z_{11}^* z_{22} - z_{12}^2) - z_{01}^{*2} z_{22}} \quad (7)$$

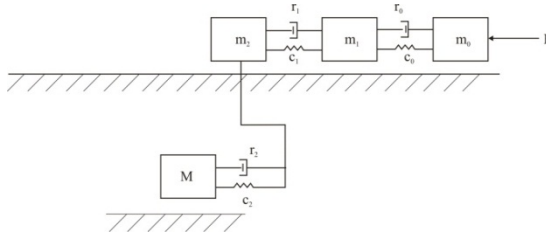
Belə ki, $z_{00} > z_{01}$ olarsa, onda $I_2 / I_2^* > 1$, yəni I_2 cərəyan kəmiyyəti ikinci halda birinci hala nəzərən azdır.

Varinat II. Analoji çevrilmə apararaq alırıq :

$$\frac{I_2}{I_2^*} = \frac{z_{22}^* (z_{00}^* z_{11}^* - z_{10}^{*2}) - z_{00}^* z_{12}^*}{z_{12}^* (z_{00}^* z_{22}^* - z_{10}^{*2}) - z_{00}^* z_{12}^* + z_{00}^* z_{12}^* z_{12}^*} \quad (8)$$

(8) ifadəsindən görünür ki, z_{11} parametrini seçmək yolu ilə $I_2 / I_2^* > 1$ şərtinin yerinə yetirilməsinə nail olmaq olar.

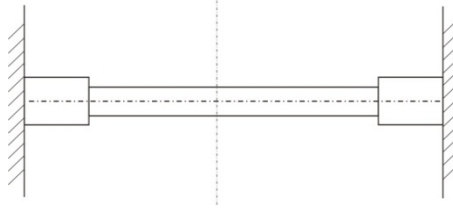
4-cü şəkildəki sxemə nəzərən rezonatorun paylanmış parametrlərinə görə modelini 5-ci şəkildəki kimi tərtib edirik.



Şəkil 5. Təkmilləşdirilmiş formalı rezonatorun toplanmış parametrləri ilə mexaniki modeli

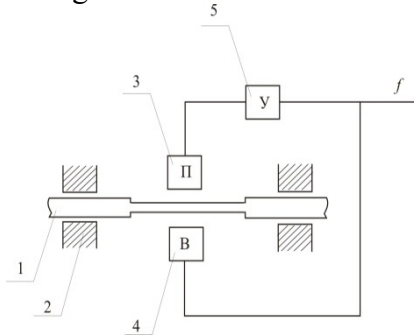
Sadə halda verilmiş model rezonatorun pilləvari-dəyişən kəsikli hazırlanmış, borunu sonları bərk birləşdirilmiş formada yerinə yetirilməsinə uyğundu (Şəkil 6). Rezonatorun tapılmış bu forması onun rəqsi zamanı dayaqalara birləşmə yerlərində əmələ gələn reaktiv qüvvənin aşağı salınmasını təmin edir, bu da rezonatorun əvvəlki formasına nəzərən müqayisədə nəticə etibarilə keyfiyyətinin yüksəldilməsinə təmin etmiş olur.

Rezonatorun hesabının aparılması metodikası üçün onun dəqiq riyazi modeli işlənir və tədqiq edilir.



Şəkil 6. Yeni sintez edilmiş rezonatorun forması

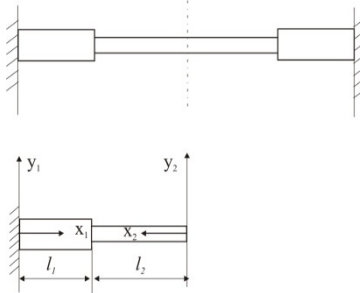
Bundan ötrü rezonatorun struktur modeli tədqiq edilmişdir, bu rezonatorun ümumi görünüşü 7-ci şəkildə göstərilmişdir. Rezonator pilləvari-dəyişən en kəsikli 1 borusundan ibarətdir, hansı ki, borunun sonları 2 dayağına möhkəm bərkidilmişdir. Rezonatorun işçi rejimini rəqsi hərəkətdə olan borunun birinci harmoniyasında həyəcanlandırma sistemini vasitəsilə yaradılır. Həyəcanlandırma sistemi isə 3 elektromaqnit qəbuledicidən və 5 elektron gücləndiricinin müvafiq giriş və çıxışına qoşulmuş 4 rəqslər həyəcandırıcısından ibarət qurulmuşdur. Avtorəqslərin tezliyi borudan keçən mayenin sıxlığının dəyişilməsi ilə dəyişir və gücləndiricinin çıxışından götürülür.



Şəkil 7. Rezonatorun ümumi görünüşü

Təpşırıq rezonatorun rəqslərin məxsusi tezliyi və rezonatorada olan mayenin sıxlığı arasında analitik asılılığının təyin edilməsindən ibarətdir.

Rezonatorun mütləq simmetrikliliyini nəzərə alsaq şəkil 8-də olduğu kimi hesabat sxemini qəbul etmək olar, yəni borunun yarım hissəsi üçün tapşırığın yerinə yetirilməsinə baxmaq olar.



Şəkil 8. Rezonatorun hesabat sxemi

Borunun götürdüyümüz yarısını şərti olaraq iki sahəyə bölək : birinci – borunun dayaqalara birləşmə yerlərindən onun xarici diametrinin dəyişməsinə qədər olan sahə; ikinci – xarici diametrin dəyişdiyi sahədən borunun ortasına qədər olan hissə. Borunun bu qəbul edilmiş sahələrinin uzunluqlarını müvafiq olaraq l_1 və l_2 götürsək, onda $l_1 + l_2 = l$. Borunun digər parametrləri sxemdə göstərilirdi kimidir. Hər bir sahədə əlaqəli iki koordinat sistemini qururuq. Hər bir sahədə borunun oxunun meyletməsini müvafiq olaraq y_1 və y_2 adlandıraraq. Bu kəmiyyətlər elə t zaman funksiyası və x_1 və x_2 koordinatları ilə təyin olunan burada nöqtələrin vəziyyətləridir. Sürtünməni nəzərə almasaq hərəkət tənliyi aşağıdakı şəkil alar:

$$\begin{cases} EJ_1 \frac{\partial^4 y_1}{\partial x_1^4} + m_1 \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} = 0; \\ EJ_2 \frac{\partial^4 y_2}{\partial x_2^4} + m_2 \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} = 0; \end{cases} \quad (9)$$

burada E – elastiklik modulu; J_1, J_2 – borunun eninə kəsiyinin oxlar üzrə ətalət momentləri ; m_1, m_2 – maye ilə dolu borunun uzunluğunun kütlə vahidi.

Analiz aparmaq üçün A.H.Krılov funksiyalarından və integrallarından istifadə edirik. Baxılan hal üçün sərhəd şərtləri aşağıdakı şəkildə olacaq:

$$\begin{aligned} x_1 = 0; \quad y_1 = 0; \quad \frac{\partial y_1}{\partial x_1} = 0; \\ x_2 = 0; \quad \frac{\partial y_2}{\partial x_2} = 0; \quad \frac{\partial^3 y_2}{\partial x_2^3} = 0; \end{aligned}$$

Birləşdirmə şərtində $x_1 = l_1$ və $x_2 = l_2$ olduqda aşağıdakı kimi yazılar:

$$\begin{aligned} y_1 = y_2; \quad \frac{\partial y_1}{\partial x_1} = -\frac{\partial y_2}{\partial x_2}; \\ EJ_1 \frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} = EJ_2 \frac{\partial^2 y_2}{\partial x_2^2}; \quad EJ_1 \frac{\partial^3 y_1}{\partial x_1^3} = -EJ_2 \frac{\partial^3 y_2}{\partial x_2^3} \end{aligned} \quad (10)$$

Aşağıdakı kimi əvəzetmə aparsaq:

$$y_i(x_i, t) = z_i(x_i)v(t), \quad i = 1, 2 \quad (11)$$

Harada ki, $z_i(x_i)$ - diferensial tənliyin IV dərəcədən həlli :

$$z_i^{IV} - v_i^4 z_i = 0; \quad (12)$$

olar, burada $v(t)$ – diferensial tənliyin 2-ci dərəcədən həlli :

$$v_i + \omega v_i = 0;$$

$$\omega = v_i^2 \sqrt{\frac{EJ_i}{m_i}} \quad (13)$$

Burada $\omega = 2\pi f$ - rəqsin dövrü tezliyi və f – rəqsin məxsusi tezliyidir. Aşağıda (9) və (10) tənliklərindən adi törəməli tənliklərə keçək.

$$\begin{cases} z_1^{IV} + \nu_1^4 z_1 = 0; \\ z_2^{IV} + \nu_2^4 z_2 = 0; \end{cases} \quad (14)$$

aşağıdakı sərhəd şərtləri olduqda:

$$\begin{aligned} z_1(0) = 0; \quad z_1'(0) = 0; \quad z_2''(0) = 0; \quad z_2'''(0) = 0; \\ z_1(l_1) = z_2(l_2), \quad z_1'(l_1) = -z_2'(l_2), \\ z_1''(l_1) = \frac{E_2 J_2}{E_1 J_1} z_2''(l_2), \quad z_1'''(l_1) = -\frac{E_2 J_2}{E_1 J_1} z_2'''(l_2), \quad z_1''''(l_1) = -\frac{E_2 J_2}{E_1 J_1} z_2''''(l_2) \end{aligned} \quad (15)$$

harada ki, $\nu_i^4 = \frac{m_i \omega^2}{E_i I_i}$, $i = 1, 2$

Yazılışları sadələşdirmək məqsədilə aşağıdakı adlandırmanı qəbul edək:

$$\begin{aligned} U_i &= U(l_i \nu_i); & S_i &= S(l_i \nu_i); \\ T_i &= T(l_i \nu_i); & V_i &= V(l_i \nu_i); \end{aligned}$$

Krılov funksiyasında (15) ifadələrində təsvir edilmiş birinci dörd şərti nəzərə almaqla (13) tənliyinin həll etmək üçün aşağıdakı kimi yazmaq olar :

$$\begin{cases} z_1(x_1) = a_1 U_1 + b_1 V_1; \\ z_2(x_2) = a_2 U_2 + b_2 S_2; \end{cases} \quad (16)$$

Harada ki, a_1, a_2 və b_1, b_2 – istənilən sabitlərdir. Birləşdirilmə şərtlərindən istifadə edərək, sistemin 5-8 şərtlərini (15) alırıq:

$$\begin{cases} a_1 U_1 + b_1 V_1 = a_2 U_2 + b_2 S_2; \\ a_1 T_1 + b_1 U_1 = k_1 a_2 T_2 + k_1 b_2 V_2; \\ a_1 S_1 + b_1 T_1 = k_2 a_2 S_2 + k_2 b_2 U_2; \\ a_1 V_1 + b_1 S_1 = k_3 a_2 V_2 + k_3 b_2 T_2; \end{cases} \quad (17)$$

harada ki,

$$k_1 = -\sqrt[4]{\frac{E_1 J_1 m_2}{E_2 J_2 m_1}}; \quad k_2 = \frac{E_2 J_2}{E_1 J_1} k_1^2; \quad k_3 = \frac{E_2 J_2}{E_1 J_1} k_1^3;$$

Matris tərtib edək.

$$\begin{aligned} V &= \begin{vmatrix} U_1 V_1 \\ T_1 U_1 \end{vmatrix}; & \Phi &= \begin{vmatrix} U_2 S_2 \\ k T_2 k V_2 \end{vmatrix}; \\ V_1 &= \begin{vmatrix} S_1 T_1 \\ V_1 S_1 \end{vmatrix}; & \Phi_1 &= \begin{vmatrix} k_2 S_2 k_2 U_2 \\ k_3 V_2 k_3 T_2 \end{vmatrix}; \\ F_1 &= \begin{vmatrix} a_1 \\ b_1 \end{vmatrix}; & F_2 &= \begin{vmatrix} a_2 \\ b_2 \end{vmatrix}; \end{aligned} \quad (18)$$

Onda (17) tənliyini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\begin{cases} F_1 V = F_2 \Phi \\ F_1 V = F_2 \Phi_1 \end{cases} \quad (19)$$

və ya

$$X F_1 = 0 \quad (20)$$

burada $X = (\Phi_1 \Phi^{-1} V - V_1) F_1 = 0$, onda onun elementləri aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\begin{aligned} x_{11} &= k_1 k_2 U_1 (S_2 V_2 - U_2 T_2) + k_2 T_1 (U_2^2 - S_2^2) - k_1 S_1 (U_2 V_2 - T_2 S_2); \\ x_{12} &= k_1 k_2 V_1 (S_2 V_2 - U_2 T_2) + k_2 U_1 (U_2^2 - S_2^2) - k_1 T_1 (U_2 V_2 - T_2 S_2); \\ x_{21} &= k_1 k_3 U_1 (V_2^2 - T_2^2) + k_3 T_1 (T_2 U_2 - S_2 V_2) - k_1 V_1 (U_2 V_2 - T_2 S_2); \\ x_{22} &= k_1 k_3 V_1 (V_2^2 - T_2^2) + k_3 U_1 (T_2 U_2 - S_2 V_2) - k_1 S_1 (U_2 V_2 - T_2 S_2); \end{aligned}$$

(19) düsturunun sıfırdan fərqli olan həllinin olması üçün $\det x = 0$ şərtinə riayət etmək zəruridir. Təyinedicini açaraq, analiz olunan rezonator borusunun məxsusi rəqslərinin tezliklərinin təyin olunması tənliklərini alırıq:

$$x_{11} x_{22} - x_{21} x_{12} = 0 \quad (21)$$

Məsələnin ikinci hissəsinə keçək, yəni rezonatorun parametrləri ilə və rezonatorun birləşmə yerlərində reaktiv qüvvə kəmiyyəti arasındakı analitik asılılığın tapılması məsələsinə keçək.

Nəzəri hissəyə uyğun olaraq, birləşmə yerlərində qüvvə aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$F = E J_1 y_1(0, t)$$

Bu da zamanın harmonik funksiyasıdır, belə funksiya $v(t)$ funksiyasıdır. Bu kəmiyyətin amplitud qiyməti aşağıdakına bərabərdir:

$$F_A = EJ_1 u_1(0)$$

(16) ifadəsini nəzərə almaqla

$$u_1(x_1) = (U(v_1 l_1) V(v_1 l_1)) F_1 \quad (22)$$

Harada ki,

$$u_1(0) = v_1(0,1) F_1$$

(20) ifadəsinə nəzərən F_1 – bu v_1 qiymətləri zamanı hesablanmış X matrisinin xüsusi v_1 vektorudur. Hansı ki, teziyə görə tənliyin həlli olan (21) skalyar sürətinə qədər dəqiqliklə müəyyən edilir və məsələn, aşağıdakı şəkildə ola bilər ki, qəbul edilsin:

$$F_1 = \frac{\lambda}{2EJ_1} \begin{pmatrix} x_{12} \\ -x_{11} \end{pmatrix} \quad (23)$$

F_1 -in yuxarıdakı təsvir olunmasını nəzərdə tutmaqla aşağıdakı ifadəni alırıq :

$$F_A = \frac{\lambda}{2} v_1^3 x_{11}; \quad (24)$$

burada λ - başlanğıc şərtlərdən asılı olan rəqslərin intensivliyini təyin edən sabitdir.

Rəqslərin intensivliyinin xarakteristikası qismində borunun orta nöqtəsinin sürüşdürülməsi kimi h amplitudası qəbul edilə bilər. Qəbul edək ki, sistemin parametrlərindən asılı olmayaraq sistemdə h amplitudasının qeyd olunması təmin edilir. Amplitudanı bu parametrlər vasitəsilə ifadə edək. Nə qədər ki,

$$h = z_2(0)$$

olduğundan

$$h = (0,1) F_2$$

(19) ifadəsindən $F_2 = \Phi^{-1} F_1 V$ (25) alınır.

(25) ifadəsini açaraq və tapılmış qiyməti (24) ifadəsində yerinə qoysaq λ üçün alırıq

$$\lambda = \frac{hE_2 J_2 k_1 (U_2 V_2 - S_2 T_2)}{U_2 (T_1 x_{12} - U_1 x_{11}) - k_1 T_2 (U_1 x_{12} - V_1 x_{11})}$$

(25) ifadəsindən görünür ki, F_A aşağıdakı bərabərlik yerinə yetirildiyi zaman nəzəri olaraq sıfıra bərabər götürülür:

$$U_2 V_2 - S_2 T_2 = 0 \quad (26)$$

Belə olanda, (26) bərabərliyinin yerinə yetirilməsi şərtindən rezonatorun parametrlərini seçməklə, borunun dayaqalara birləşmə yerlərində reaktiv qüvvələrinin azaldılması hesabına, bu qüvvələrin borunun rəqslərinin dayaqlardan korpusa düşən enerjisinin itkilərinin kifayət qədər azaldılmasına nail olmaq olar.

Alınmış (26) bərabərliyindən istifadə edərək, praktikada, birborulu pilləvari-dəyişən en kəsikli rezonatorun parametrlərinin hesabının aparılması metodikası işlənmişdir. Bu metodika ilə ölçülən mayenin sıxlığa və rezonatorun bərkidilmə yerlərində reaktiv qüvvələrin minimalaşdırılması hesabına maksimal keyfiyyətlə verilmiş mütləq həssaslığa malik olan pilləli-dəyişən en kəsikli birborulu rezonatorun parametrlərinin hesablanması praktikada həyata keçirməyə imkan verir.

Birborulu rezonatorun keyfiyyətinin yüksəldilməsinin maksimum olunması şərtinin təmin olunmasına baxaq.

Sonrakı hesabatlarda rahatlıq olması üçün aşağıdakı dəyişikliyi qəbul edək

$$\omega_1 = \nu_1 l_1 = \sqrt[4]{\frac{m_1}{EJ_1}} \cdot \sqrt{6,28F_0} \cdot l_1 \quad (27)$$

$$\omega_2 = \nu_2 l_2 = \sqrt[4]{\frac{m_2}{EJ_2}} \cdot \sqrt{6,28F_0} \cdot l_2 \quad (28)$$

ω_1 tutaq ki, (21) tənliyini köküdür və $\omega_1 = 3.155$. Bu zaman ω_2 də (26) tənliyini kökü olmalıdır və $\omega_2 = 2.365$. Bu zaman (27) və (28) ifadələrində çətin olmayan çevrilmələr aparılmasından sonra aşağıdakı formanı alır:

$$3.155 = 4 \cdot \sqrt[4]{\frac{(D_1^2 - d^2)\rho_T + d^2 \rho_{oc}}{E(D_1^4 - d^4)}} \cdot \sqrt{6,28F_0} \cdot l_1 \quad (29)$$

$$2.365 = 4 \cdot \sqrt[4]{\frac{(D_2^2 - d^2)\rho_T + d^2\rho_{\text{oc}}}{E(D_2^2 - d^4)}} \cdot \sqrt{6,28F_0} \cdot l_2 \quad (30)$$

Vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənlərinin işlənməsi təcrübəsini və alınmış ifadələri nəzərə alaraq birborulu pilləvari-dəyişən en kəsikli rezonatorun rasionallıq parametrlərinin seçilməsinin ardıcılığını aşağıdakı kimi təklif etmək olar:

- ρ_T sıxlığını və E elastiklik modulunu və eləcə də ölçülən mayenin xassələrini nəzərə almaqla rezonatorun materialının seçilməsi ;

- ölçmənin texnoloji şərtindən irəli gələn borunun d daxili diametrinin təyin edilməsi ;

-birborulu rezonatorun mərkəzi hissəsinin xarici D_1 diametrinin və D_2 periferiya hissələrinin borunun hazırlanması texnoloji şərtini nəzərə almaqla seçilməsi ;

-vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənlərinin işlənməsinin təcrübəsindən irəli gələn, F_0 boş birborulu rezonatorun məxsusi tezliyinin tapılması ;

-(30) ifadəsinin köməylə rezonatorun l_2 periferiya sahəsinin uzunluğunun hesabının aparılması;

- $\omega_1 = 3.155$ olduqda (23) ifadəsindən istifadə edərək rezonatorun l_1 mərkəz sahəsinin uzunluğunun hesabının aparılması.

Üçüncü fəsil ölçülən mühitin vibrasiya sıxlıq vericisinin göstəricilərinə əsas destabilləşdirici faktorların təsiri, məhz temperaturun, təzyiqin və ölçülən mayenin axınının sürətinə təsirinə həsr olunmuşdur.

Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində rezonatorun rəqslərinin dəyişməsinin təyin olunması üçün aşağıdakı münasibətlər alınır:

- rezonatorun temperaturun t_0 -dan t -yə dəyişməsi zamanı:

$$\Delta f_t = f_t - f_{t_0} = -\frac{1}{2} f_{t_0} \frac{A(\alpha_E - \alpha_L) + \rho(\alpha_E + 2\alpha_L)}{A + \rho} \Delta t$$

burada: α_E və α_L - müvafiq olaraq elastikliyin temperatur əmsalı və xətti genişlənmə əmsalı; f_{t_0} – maye ilə doldurulmuş ρ_H sıxlıqlı t_0 temperaturunda rezonatorun rəqslərinin tezliyi;

f_t - maye ilə doldurulmuş ρ_H sıxlıqlı t temperaturunda rezonatorun rəqslərinin tezliyi;

- Ölçülən mayenin təzyiqinin P_0 -dan P -yə dəyişməsi zamanı aşağıdakı kimi təyin oluna bilər:

$$\Delta f_P = f_P - f_{P_0} = \frac{1}{2} f_{P_0} \frac{(VL)^2 S}{0.484 E(n^4 - 1)d^4} \Delta P,$$

burada maye ilə doldurulmuş borunun rəqslərinin tezliyi f_p , təzyiqi P və sıxlığı isə ρ ilə işarə olunmuşdur; f_{P_0} - maye ilə doldurulmuş borunun rəqslərinin tezliyi, ρ sıxlığı və başlanğıc təzyiqi $P_0(0.1 \text{ MPA})$; V – borunun sonlarının birləşmə şərtlərindən asılı olan onun gətirilmiş uzunluq əmsalıdır.

- v ölçülən mayenin sürətinin dəyişməsi zamanı

$$f = \frac{0.907d}{\ell^2} \sqrt{\frac{E}{\rho_T} (n^2 + 1)} \sqrt{\frac{A}{A + \rho}} \sqrt{1 - 0.405 \frac{\ell^2 \rho v^2}{Ed^2 (n^4 - 1)}}$$

Rezonatora qoşulmuş diferensial sxemlərdən istifadə edərək və kompensatorlarının daxil edilməsi hesabına yuxarıda göstərilən faktorların təsirinin aşağı salınmasını təmin edən birborulu pilləvari-dəyişən en kəsikli yeni konstruksiyasına baxılır.

Avtorəqslərin həyəcanlandırma sistemində faza sürüşməsindən irəli gələn ölçmənin xətasının analizi aparılır.

Dördüncü fəsildə konstruksiyası dissertasiyanın 2-ci fəsilində verilmiş metodika əsasında işlənmiş keyfiyyəti yüksəldilmiş birborulu rezonatorun eksperimental tədqiq olunması nəticəsində alınmış nəticələr verilmişdir.

Eksperimental tədqiqatların aparılması üçün qurğu işlənmişdir: bu qurğuya tədqiq olunan rezonator və sınaq lövhəsində $\Gamma 3$ 112 tipli signal generatoru, ЧЗ-34A tipli sıxlıqölçən-xronometr, B7-16A rəqəm tipli universal voltmetr,

100Y-101 tipli gücləndirici, qida mənbəyi, B7-16A tipli ossilloqraf, həyəcanlandırıcı və verici daxildir.

Həyəcanlandırma və rəqslərin qeydə alınması üçün elektromaqnit çeviricilərdən istifadə olunur. Rəqsi sistemin rezonans tezliyinə sazlamq üçün qəbuledicidə e.h.q. kəmiyyətinə görə dolayı metodla təyin edilən, qollarının məcburi rəqsləri zamanı rezonatorun rezonans tezliyi vasitəsilə həyata keçirilir.

Rezonatorun keyfiyyətinin ölçülməsi üçün xüsusi cihaz işlənmişdir. Birborulu pilləvari-dəyişən en kəsikli rezonator əsasında vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənlərinin sxemi təklif olunmuşdur.

Eksperiment yolu ilə rezonatorun rəqslərinin məxsusi tezliyi və keyfiyyəti tədqiq olunmuşdur. Birinci eksperiment iki mərhələdən ibarətdir. Birinci mərhələdə, rezonatorun boş ikən rəqslərinin tezliyi, ikinci mərhələdə, distillə olunmuş su ilə dolu vəziyyətində rezonatorun tezliyi ölçülmüşdür.

Eksperimentin nəticələri göstərir ki, təklif olunan analitik ifadələrdən istifadə etməklə, pilləvari- dəyişən en kəsikli rezonatorun məxsusi rəqslərinin tezliyinin təyin olunmasının xətası 10 faizdən çox olmamışdır.

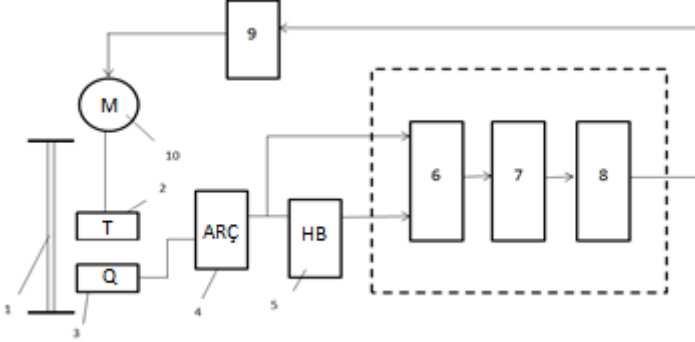
İkinci eksperiment zamanı iki rezonatorun tədqiqi aparılmışdır. Birinci, bircinsli (üstü hamar), ikinci halda, pilləvari-dəyişən en kəsikli. Nəticədə, aparılmış eksperiment nəticəsində təyin edilmişdir ki, pilləvari-dəyişən en kəsikli rezonatorun keyfiyyəti 2.33 dəfə bircinsli, yəni üstü hamar rezonatorun keyfiyyətindən üstün olmuşdur.

Vibrasiya-tezlik mayelərin sıxlıqölçənlərinin istehsal təcrübəsi elektromaqnit təsirlənmə sisteminin sazlanması prosesinin avtomatlaşdırılmasının zəruriliyini göstərir. Rəqslərin elektromaqnit qəbuledicisi hərəkətsiz vəziyyətdə olduğu zaman rəqslərin elektromaqnit təsirləndiricisinin sola və ya sağa hərəkət etdirilməsi o vaxta qədər davam etdirilir ki, qəbuledicinin çıxışında mümkün olan maksimum siqnal əmələ gəlsin.

Qeyri-səlis tənzimləmə nəzəriyyəsinin müddəalarından istifadə etməklə vibrasiya-tezlik maye sıxlıqölçənlərinin rezonatorun

elektromağnit təsirlənmə sisteminin qurulmasının avtomatlaşdırılması probleminin həlli aktual görünür.

İdarə olunan kəmiyyət kimi, rəqslərin təsirləndiricinin qəbuledicisinin hərəkəti nəzərdən keçirilmişdir. Şəkil 10-da vibrasiya-tezlik maye sıxlıqölçəninin elektromağnit təsirləndiricisinin yerdəyişməsinin avtomatik tənzimlənməsi sisteminin sadələşdirilmiş struktur sxemi təqdim olunmuşdur.



Şəkil 10. Vibrasiya-tezlik maye sıxlıqölçəninin elektromağnit təsirləndiricisinin yerdəyişməsinin avtomatik tənzimlənməsi sisteminin sadələşdirilmiş struktur sxemi

Sistemin girişinə 1- blokundan U gərginliyi 4 - analog rəqəm çeviricisindən daxil olur. Alınmış qiymət qeyri-səlis kontrollerin girişlərindən birinə verilir. İkinci girişə isə 5 hesablama blokundan $\frac{dU}{dt}$ törəmələri daxil edilir. Qeyri-səlis kontrollerə aşağıdakılar aiddir: səlis siqnalların qeyri-səlis çoxluqlara çevrilməsi üçün nəzərdə tutulmuş fəzzifikator – 6, kontrollerin giriş və çıxış parametrləri arasında qeyri-səlis əlaqələri təsvir edən qeyri-səlis qaydalar məcmusu, yəni linqvistik qaydalar cədvəli (LQC) – 7; defəzzifikator – 8, harada ki, səlis idarəetmə təsiri şəklində defəzzifikasiyadan sonra alınmış qeyri-səlis qiymət mühərrikin idarəetmə blokunun - 9 girişinə daxil olur və mühərrik – 10. Qeyri-səlis kontrollerlə işləmək üçün aşağıdakı linqvistik dəyişənlərdən istifadə olunmuşdur:

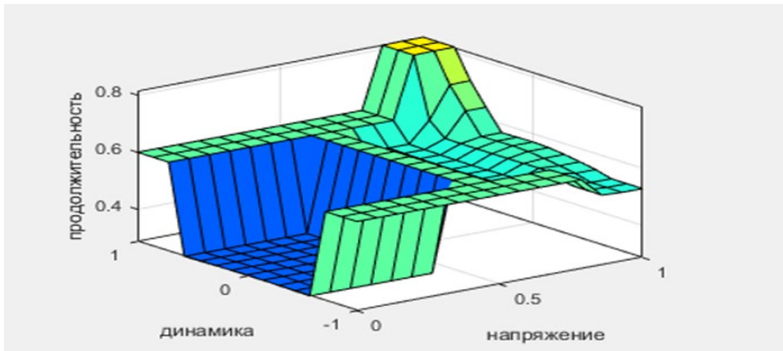
1. Gərginlik-Voltage.Rəqslərin amplitud səviyyəsinin gərginliyi.

2. Dinamika. Gərginlik dəyişməsinin dinamikası(gərginliyin törəməsi).

3.İstiqamət-Direct. Mühərrikin növbəti keçidinin istiqaməti.

4.Müddət–Duration. Elektrik mühərrikinin işə salınma müddəti.

Hesablama eksperimentləri Matlab mühitində Fuzzy Logic Toolbox proqram kompleksindən istifadə etməklə həyata keçirilir. Tədqiq olunan modelin iş prosesində növbəti keçirilmə istiqamətinin dəyişmə səthləri və elektrik mühərrikinin qoşma vaxtının müddəti alınmışdır. Şəkil 11-də elektrik mühərrikinin növbəti keçid istiqamətinin dəyişmə səthləri və elektrik mühərrikinin qoşulma müddəti gərginlik rəqslərinin tezliyi və onun törəməsinin qiymətindən asılı olaraq göstərilmişdir.



Şəkil 11. Giriş dəyişənlərin çıxış parametrləri səthi asılılığı

Alınan nəticələrin təhlili nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, qeyri-səlis kontroller əksər hallarda əl ilə müqayisədə daha az miqdarda keçidlər həyata keçirir və həmçinin boru və rəqslərin qəbuledicisi arasında olan boşluğun saxlanmasına imkan verir.

Bu rezonatorun rəqs tezliyinin səviyyəsinin sazlanması vaxtını azaldır və borunun həndəsi ölçülərinin dəqiqliyinə qoyulan tələblərin artırılmasını tələb etmir. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, qeyri - səlis məntiqə əsaslanan qurğular daha bir nisbətən sadə genişlənmə vacib xüsusiyyətinə malikdir.

Belə cür cihazlar üçün yeni xüsusiyyətləri və funksional imkanları əlavə etmək asandır, mürəkkəb deyildir. Yəni əlavə funksiyalar daxil etmək zərurəti yaranarsa, onları qeyri-səlis qurğusunun işinə əlavə etmək imkanları mövcuddur. Bundan ötrü qeyri-səlis məntiqə əsaslanan cihazlar digərləri ilə müqayisədə nisbətən asandır və sadəcə cari ehtiyac olduğu şəraitdə daxil edilmiş yeni funksiyalara görə yenidən proqramlaşdırıla bilər.

Yeni funksional imkanların əlavə edilməsi proseduru sadədir və mürəkkəb deyil. Buna görə də, ehtiyac yarandıqda yeni funksiyalar əlavə etmək mürəkkəbliyi yaratmır. Tədqiqatlar nəticəsində bir sıra nəticələr alınmışdır:

1. Qeyri-səlis kontroller əksər hallarda qəbul edilmişdir ki, əl ilə keçidlərin olması ilə müqayisədə daha az keçid olması həyata keçirilməsinə nail olunmuşdur. Bu sıxlıqölçənin rəqslərinin amplituda səviyyəsinin tənzimlənməsi üçün vaxtın azalmasına gətirib çıxarır.

2. Qeyri - səlis məntiqə əsaslanan qurğular daha bir mühüm xüsusiyyətə - nisbətən müqayisə ediləcək sadə genişlənmə xüsusiyyətinə malikdir. Bu cür cihazlar üçün yeni xüsusiyyətlər, yeni funksiyalar əlavə etmək asandır və mürəkkəb deyildir. Yəni, Əlavə funksiyalar tələb olunarsa, onları qeyri-səlis cihaza əlavə etmək mümkündür.

Təsdiq olunur ki, qeyri-səlis məntiqə əsaslanan qurğular adı məntiqə əsaslanan qurğulardan daha çox vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənlərin rəqslərinin amplitudasının səviyyəsinin avtomatik sazlanması üçün daha çox üstünlük təşkil edir. Rəqslərin amplitudunun səviyyəsinin avtomatik olaraq tənzimlənməsi daha keyfiyyətli olur, keçidlərin sayı azalır.

Sənayenin müxtəlif sahələrində tətbiq edilən yüksək dəqiqlikli və etibarlı sıxlıqölçənlərin yaradılması istiqamətində - bilavasitə nəzarət olunan parametrlərin tezlik-modullaşdırıcı siqnallara çevrilməsi ilə vericilərin yaradılmasına və işlənməsi keyfiyyətə yeni istiqamətdir. En kəsiyi pilləvari-dəyişən digər yüksək keyfiyyətli bu cür konstruksiyalardan fərqlənən birborulu rezonatoru vibrasiyalı-tezlik sıxlıqölçənlərin tətbiq sahələrini genişləndirməyə imkan verir.

Xüsusilə, sənayenin müxtəlif sahələrində çoxlu sayda texnoloji proseslərin xammalı və ya məhsulu olan suspenziyaların və boru kəmərlərinin dispers sistemlərinin konsentrasiyasının vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənlər tərəfindən sıxlığın ölçülməsi zamanı ölçmə dəqiqliyinin artırılması bu rezonatorlardan istifadə olunması əhəmiyyətini kifayət dərəcədə artırma bilər.

En kəsiyi pilləvari-dəyişən hazırlanmış rezonatorlardan müvəffəqiyyətlə vibrasiya-amplitud sıxlıqölçənlərində tətbiq oluna bilər ki, burada da ənənəvi olaraq birborulu rezonatorlardan istifadə olunur.

Bu cihazların iş prinsipi boru rezonatorun məcburi rəqslərinin amplitudunun ondan keçən mayenin sıxlığından asılılığına əsaslanır. Eyni zamanda, cihazın ən böyük həssaslığı rezonans sahəsinə yaxın olan yaxınlıqda fəaliyyəti zamanı təmin edilir.

Başlanğıcda, rezonator nümunə olaraq götürülmüş maye ilə doldurulur, məsələn, distillə edilmiş su ilə doldurulur, sonra rəqsi sistem rezonans vəziyyətinə sazlanır, eyni zamanda rəqslərin amplitudasının maksimum qiymətini qeydə alır.

Bundan əlavə, rezonator tədqiq olunan maye ilə doldurulur, məsələn, müqayisə edilən sıxlıqdan fərqlənən su-sement qarışığı ilə doldurulur. Rezonans şərti pozulur və rəqslərinin amplitudası azalır. Ölçmə həddi müqayisə edilən mayenin seçilməsi və sonrakı rezonans halına sazlanma ilə dəyişdirilir.

Rəqslərin amplitudasını təsirləndirilməsi və rəqslərin amplitudunun ölçülərək kəmiyyətin götürülməsi, bir qayda olaraq, dəyişən cərəyan elektromaqnitləri vasitəsilə həyata keçirilir. Vibrasiya-amplitud sıxlıqölçənlərin həssas elementi kimi, uclarda sərt şəkildə bərkidilmiş düz bircins borudan istifadə olunur.

Rezonator borusunun dayaqlara birləşmə yerlərində böyük səpələnmə enerjisinin olması səbəbindən digər konstruksiyalarında kiçik keyfiyyət alınır ki, bu cür mexaniki rəqs sistemində rəqslərin mümkün amplitudasının miqdarını kəskin məhdudlaşdırır və buna görə də potensial ölçmə həssaslığı da aşağı düşmüş olur.

Buna görə də, vibrasiya- amplitud sıxlıqölçənlərində keyfiyyətin yüksəldilməsi birboru rezonator üçün ən kəsiyi pilləli-

dəyişən hazırlanaraq istifadə olunması bu cihazların ölçmə həssaslığını və dəqiqliyini artırır bilər.

Qeyd etmək lazımdır ki, ən kəsiyi pilləvari-dəyişən birborulu rezonatoru dəyişən sərtliyə malik birborulu rezonatorların xüsusi bir hal kimi qiymətləndirmək olar. Buna görə də, bu sahədə gələcək tədqiqatlar yüksək keyfiyyətə malik dəyişən sərtliyə malik birborulu rezonatorların yeni formalarının axtarışı ilə bağlı ola bilər.

Pilləvari-dəyişən ən kəsikli birborulu rezonatorların mümkün tətbiqinin perspektivli istiqamətlərindən biri, onların əsasında suspenziyalar üçün vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənlərinin qurulması imkanındır.

Pilləvari-dəyişən ən kəsikli birborulu rezonator əsasında suspenziyalar üçün vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənlərinin qurulmasında xarakterik parametr bərk fazanın konsentrasiyasıdır (toplanmasıdır). Məlumdur ki, bu cür mühitlərin sıxlığı birmənalı şəkildə dispers fazanın konsentrasiyası ilə bağlıdır və bu da ikifazlı sistemlərin konsentrasiyasının ölçülməsi kimi sıxlıqölçənlərdən geniş istifadə olunması ilə izah olunur.

Vibrasiyalı sahədə ikifazlı mühitdə hərəkətin xüsusiyyətləri ondan ibarətdir ki, dispersiya fazanın (bərk hissəciklər) ətalətliliyi nəticəsində və sürtünmə qüvvələrinin hərəkətləri nəticəsində dispersiya mühitinin (mayenin) hərəkəti ilə müqayisədə bəzi yerdəyişmələrlə rəqs edir: maye və bərk hissəciklərin rəqslərinin amplitudu arasındakı münasibət bu zaman 0-ya bərabərdir. Göstərilən amillərin təsiri nəticəsində suspenziyalar üçün sıxlıqölçənin dərəcələnmə xarakteristikası belə formula görünüşü olan homogen mayələr üçün xarakteristikadan fərqlənir.

Suspenziyaların konsentrasiyasının bu və ya digər çeviricilərinin seçilməsi, ilk növbədə, həssas elementin içərisində və ya xaricində bərk hissəciklərin çöküntüsünün qarşısını almaq qabiliyyəti ilə bağlıdır. Buna görə mexaniki rezonatorlar kəskin əyilmələrə və ya durğun zonalara malik olmamalıdır, dövrü olaraq təmizləmə və ya yuyulma üçün əlçatan olmalıdır.

Bu tələblərə birboru rezonatorlar, o cümlədən pilləli-dəyişən en kəsikli birborulu rezonatorlar cavab verir.

Son illərdə vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənlərini layihələndirənlər təzyiqlə altında olan mayelərlə işləmək üçün boru rezonatorlarının yeni formalarının axtarışını aparırlar. Eyni zamanda, layihəçilər rezonatorun xarici konstruksiyalarının əlaqələndirilən mexaniki mübadiləsinə gətirib çıxaran silfonlara bənzər çevik birləşdirici elementlərdən istifadə etməməyə çalışırlar. Bununla belə, çevik birləşdirici elementlərdən istifadə etməkdən imtina edilməsi mexaniki rəqsi sistemin keyfiyyət əmsalının azalmasına gətirib çıxarır. Bununla əlaqədar olaraq, pilləvari-dəyişən en kəsikli birborulu rezonatorlardan istifadə elastik birləşdirici elementlərdən istifadə etməkdən imtina nəticəsində keyfiyyət əmsalının azaldılmasından qaçmağa, yəni keyfiyyət əmsalının artırılmasına imkan verir.

Dənəvər şəkilli maddələrin sıxlığının ölçülməsi üçün birborulu rezonatorlarından istifadə etmək imkanı müəyyən maraqlı doğurur. Dənəvər şəkilli maddə mühitlərin sıxlığının, o cümlədən onların həqiqi sıxlığını ölçmək üçün bir neçə növü vardır. Vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənlərindən istifadə edərkən, dənəvərşəkilli mühitlərin həqiqi sıxlığını ölçmək üçün, rezonatorun borusunun yuxarı hissəsi bərkidilmiş hissənin hüdudlarından kənara çıxmalıdır və aşağı hissəsi isə qapaq ilə bağlanmalıdır. Verici dənəvərşəkilli maye mühitinin axını yolunda quraşdırılmalıdır. Vibrasiya edən rezonatoruna daxil olan dənəvər mühit onu sıxaraq doldurur. Vericinin göstəriciləri dənəvərşəkilli maye mühitinin rezonatora sıxılaraq doldurulma prosesi başa çatdıqdan bir müddət sonra qeydə alınır. Ölçmə prosesi tamamlandıqdan sonra qapaq açılır və rezonator növbəti ölçmə işinin aparılmasına qədər boşaldılır.

NƏTİCƏ

1. Ədəbiyyatlardan aparılan analiz nəticələrinə görə maye axın sıxlıqölçənlərinə qoyulan müasir təlabatlar sistemləşdirilmişdir. Boru şəkilli rezonatorlu vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənlərinin perspektivləri göstərilmişdir.

2. Vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənlərinin işinin fiziki əsasları aparılan analiz nəticəsində aydınlaşdırılmışdır ki, cihazın dəqiqliyini təyin edən onun mexaniki rezonatorudur, onun əsas parametri isə keyfiyyət əmsalıdır.

3. Birborulu rezonatorlara olan təlabatı nəzərə alaraq, yüksək keyfiyyətə malik olan yeni formalı rezonatorun axtarılması məsələsi qoyulmuşdur.

4. Yüksək keyfiyyətə malik rezonatorlu vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənləri üçün rezonatorların formalarının sintez olunması haqqında məlumatların sistemləşdirilməsi nəticəsində elektromexaniki analogiyalar metodundan istifadə etməklə alqoritm təklif olunmuşdur.

5. Təklif olunan alqoritmədən istifadə etməklə, boru şəkilli pilləvari-dəyişən en kəsikli yeni formada rezonator sintez olunmuşdur, belə ki, həmin borunun iki periferiya qalın və mərkəzi nazik hissədən ibarət olub, mərkəzə görə ikili simmetriya təşkil edir.

6. Sintez olunmuş yeni rezonatorun hesabi ifadələrinin alınması məqsədilə onun dəqiq riyazi modeli tədqiq olunmuş və işlənmişdir. Pilləvari-dəyişən en kəsikli birborulu rezonatorun rəşional parametrlərinin seçilməsi şərti tapılmışdır, hansı ki, bu şərt rezonatorun korpusa bərkidilmə yerlərinə düşən səpələnmə enerjisinin aşağı salınması hesabına mexaniki rəqsi sistemin keyfiyyətinin yüksəldilməsini təmin edir.

7. Rezonatorun rəqslərinin tezliyinə təsir edən faktorların (temperatur, təzyiq və ölçülən mayenin axın sürəi) təsirinə analizi

aparılmışdır. Rezonatora göstərilən faktorların təsiri nəticəsində rəqslərinin tezliyinin təyin edilməsi və təsir edən faktorların mümkün azaldılması yollarının hesabi ifadələri alınmışdır.

8. İşdə alınmış əsas nəzəri müddələrin yoxlanılması məqsədilə birborulu pilləvari-dəyişən en kəsikli rezonatorun eksperiment tədqiqatları aparılmışdır. Eksperiment tədqiqatların nəticələri göstərmişdir ki, təcrübi və hesabi verilənlər üst-üstə düşür (hesabatların maksimal xətası 10 faizi aşmır), eləcə də əvvəlki konstruksiya ilə müqayisədə rezonatorun keyfiyyətinin yüksəldilməsi 2.33 dəfə artmışdır.

9. Aparılmış nəzəri və eksperiment tədqiqatları nəticələri əsasında pilləvari-dəyişən en kəsikli birborulu rezonatorun əsas parametrlərinin hesabı və seçilməsinin metodiki tövsiyələri işlənmişdir. Bu zaman içərisi boş olan borunun vermiş başlanğıc tezliyinin təmin edilməsi və korpusda ilişmə yerlərinə düşən rəqsi enerjinin itkilərinin minimumlaşdırılması şərti nəzərə alınır.

Dissertasiya mövzusunə dair dərc olunmuş elmi işlərin siyahısı

1. Abdullayev I.M., Huseynov T.K., Amiraslanov B.Q. The bulk vibroamplitude method of measurement density of granular medium // Measurement and control of granular materials: Proceedings of the Fourth International Conference. – Shenyang, P.R.China, 1997, p. 147-148.

2. Abdullayev I., Huseynov T., Amiraslanov B. The synthesis of mechanical system vibrational densimeter // 8th International Machine Design and Production Conference: Conference Proceedings. – Ankara, 1998. – p. 129-135.

3. Гусейнов Т.К., Амирасланов Б.В. Математическая модель трубчатого резонатора для вибрационных плотномеров / Ученые записки АзГУ. – 1998, т. 6, № 5, с. 215-220.

4. Hüseynov T.K., Abdullayev İ.M., Əmiraslanov B.Q. Elektromexaniki maye sıxlıqölçəni / AR Dövlət Elm və Texnika Komitəsi Milli patent ekspertizası mərkəzi, “Sənaye mülkiyyəti” rəsmi bülleteni, MKİ C 01 № 9/04, 1999 I hissə, №4, s. 129-130.

5. Guseynov T.K., Farhadov Z.I., Amiraslanov B.K., Shahverdieva S.S. Development of a technique of set-up camerton resonator vibrational sedimentometer dusts with use of elements of the theory indistinct sets // Sumgayit; ecology and progress: abstracts of scientific-practical conference, Sumgayit, 1999, p.58-59.

6. Abdullayev İ.M., Huseynov T.K., Amiraslanov B.K. The vibration-peak sensor unit of Water Cement Sturries density // Measurement and Control of granular materials (MCGM 2000), August 21-23, XIAN, P.R. China, 2000, p.60-63

7. Амирасланов Б.К. Определение условия минимизации реактивных сил в опорах камертонного резонатора с ветвями ступенчато-переменного сечения / Техника-2002, №2, с. 47-50.

8. Əmiraslanov B.Q. Vibrasiya-tezlik sıxlıqölçəninin keyfiyyətinin yüksəldilməsi üçün rezonatorun formasının seçilməsi // Aspirantların və gənc tədqiqatçıların IX Respublika Elmi Konfransının materialları, I hissə, Bakı, 11-12 iyun, 2003, s.28-29.

9. Əmiraslanov B.Q. Vibrasiya vericisinin göstəricisinə sıxlığı ölçülən mühitin qeyri-informativ parametrlərin təsirinin analizi // Aspirantların və gənc tədqiqatçıların IX Respublika Elmi Konfransının materialları, I hissə, Bakı, 11-12 iyun, 2003, s.28-29.

10. Əmiraslanov B.Q., Hüseynov T.K., Tağıyev R.T. Birborulu pilləvari-dəyişən kəsikli rezonatorlu vibrasiya-tezlik tezlikölçəninə temperatur xətasının azaldılması üsulları / SDU-nun elmi xəbərləri, 2004, №2, с. 78-81.

11. Гусейнов Т.К., Амирасланов Б.К. Анализ влияния скорости течения измеряемой жидкости на частоту колебаний

трубчатого резонатора вибрационно-частотного плотномера жидкости // Современные проблемы информатизации, кибернетики и информационных технологий: Труды II Республиканской научной конференции, Баку, 2004 г., т.3, с. 72-73.

12. Əmiraslanov B.Q. Vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənlərinin mexaniki rəqs sisteminin keyfiyyət əmsalını ölçən cihaz / AzTU-nun Elmi əsərləri, 2004, №3, s.14.

13. Əmiraslanov B.Q. Dəqiqliyi yüksəldilmiş birborulu pilləvari-dəyişən kəsikli rezonatorlu vibrasiya-tezlik sıxlıqölçəni / Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin xəbərləri, İnformatika və avtomatika, №4, 2004, s. 65-69.

14. Амирасланов Б.К., Гусейнов Т.К. Математическая модель однотрубного резонатора ступенчато-переменного сечения / Научные известия Сумгаитского Государственного Университета. № 4, т.5, 2005, с.85-88.

15. Əmiraslanov B.Q. Keyfiyyət əmsalı yüksəldilmiş birborulu rezonatorlu vibrasiya-tezlik sıxlıqölçəninin tədqiqi // Aspirantların və Gənc tədqiqatçıların XI respublika Elmi Konfransının materialları, BDU, Bakı, 2006, s. 95-96.

16. Əmiraslanov B.Q. Yüksək keyfiyyətli pilləli-dəyişən en kəsikli birborulu rezonatorun eksperimental tədqiqi / AzTU-nun Elmi əsərləri, 2006, №4, s.45-47.

17. Гусейнов Т.К., Амирасланов Б.К., Абдуллаев И.М. Анализ системы возбуждения вибрационного плотномера / Известия Высших Технических Учебных Заведений Азербайджана. Метрология и приборостроение. Баку, 2007, №1(47), с.60-63.

18. Абдуллаев И.М., Гусейнов Т.К., Агаева Ф.Ш. Математическое обоснование вибрационно-частотного метода измерения жидкости // Riyaziyyatın tətbiqi məsələləri və yeni

informasiya texnologiyaları. Respublika elmi konfransı. Sumqayıt. 2007, s.219-221

19. Пат. İ 2008 0025 от 28.01.2008 (Азербайджан). Резонансный датчик плотности /Т.К.Гусейнов, И.М.Абдуллаев, Б.К.Амирасланов.

20. Амирасланов Б.К., Гусейнов Т.К., Aslanova Z. Generalized mathematical model of sensitive elements of vibration density measures of liquid // The second International Conference. “Problems of cybernetics and Informatics“, Baku, 2008, p. p 124-127.

21. Гусейнов Т.К., Амирасланов Б.К. Обобщенная математическая модель трубчатых резонаторов для вибрационно-частотных плотномеров жидких продуктов / Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. Астрахань, 2009, №4(8), с.11-14.

22. Гусейнов Т.К., Амирасланов Б.К., Оруджева Г.Э., Тагиева Т.А. Обобщённая математическая модель трубчатых резонаторов вибрационно-частотных плотномеров нефтепродуктов // Труды международной конференции «Научно-технический прогресс и современная авиация» том 2, Баку, 2009, с.63-65.

23. Гусейнов Т.К., Амирасланов Б.К. Тагиева Т.А., Джафарова Ш.М., Оруджева Г.Э. Синтез высокочастотного механического резонатора с помощью электромеханических аналогий с использованием программы Electronics Workbench / Научные известия Сумгаитского Государственного Университета. 2010, № 1, т.10, с. 49-53.

24. Hüseyinov T.K., Əmiraslanov B.Q., Tağıyeva T.A., Səfərova Ş.M., Orucova G.E. Vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənləri üçün rezonatorun riyazi modeli / SDU-nun elmi xəbərləri, 2010, №3, səh. 61-65.

25. Əmiraslanov B.Q., Tağıyeva T.A., Əliyeva A.Q. Birborulu rezonatorlu vibrasiya sıxlıqölçəninin vericisinin konstruksiyasının işlənməsi / SDU-nun elmi xəbərləri, 2013, №1, səh. 82-87.

26. Гусейнов Т.К., Амирасланов Б.К., Джафарова Ш.М., Оруджева Г.Э. Математическая модель резонатора вибрационного плотномера жидкости работающего в режиме свободных колебаний // Современные концепции научных исследований. VII международная научно-практическая конференция. Технические науки. Часть 1, Москва, 2014, с.11.

27. Гусейнов Т.К., Амирасланов Б.К., Тагиева Т.А., Садыгов З.А. Расчет собственных частот колебаний неоднородных трубчатых резонаторов вибрационных плотномеров жидкости // Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия. VI международная научно-практическая конференция. Технические науки. Часть 2, Новосибирск, 2014, стр.8-9.

28. Юсифов С.И., Мамедов Дж.Ф., Гусейнов Т.К., Амирасланов Б.К. Исследование влияния скорости течения измеряемой жидкости на частоту колебаний трубчатого резонатора вибрационно-частотного плотномера жидкости / Измерительная и вычислительная техника в технологических процессах. Хмельницкий национальный университет. 2017, №1(57), с.31-34.

29. Юсифов С.И., Амирасланов Б.К., Мамедова Г.А. Способ определения точности измерения и эксплуатации плотномеров в АСУ ТП. «Уфимский государственный нефтяной технический университет» // Международная научно-техническая конференция аспирантов и молодых ученых «Наука. Технология. Производство», г. Салават, 10-12 мая, 2017, стр. 229.

30.Юсифов С.И., Амирасланов Б.К., Ибрагимова П.А. Экспериментальное исследование однотрубного резонатора ступенчато-переменного сечения с повышенной добротностью. «Уфимский государственный нефтяной технический университет» //Международная научно-техническая конференция аспирантов и молодых ученых «Наука. Технология. Производство», г. Салават,10-12 мая, 2017, стр. 230.

31.Юсифов С.И., Амирасланов Б.К. Анализ состояния разработки вибрационных поточных плотномеров жидких сред // İformasiya sistemləri və texnologiyalar: nailiyyətlər və perspektivlər. Beynəlxalq elmi konfransın materialları, Sumqayıt ş., 2018, s.50-51.

32.Əmiraslanov B.Q. Vibrasiya-tezlik sıxlıqölçəninin rezonatorunun tədqiqi // İformasiya sistemləri və texnologiyalar: nailiyyətlər və perspektivlər. Beynəlxalq elmi konfransın materialları, Sumqayıt ş., 2018, s.49-50.

33.Huseynov T.K., Amiraslanov B.K., Gadirova T.T., Abdulova N.A., Hacıyeva K.R. Theoretical and experimental study of vibration-amplitude liquid densimeter on the basis of a high-quality tubular resonator // International Scientific and Technical Conference: SES-2019, Scopus preview. E3S Web of Conferences 124, 03004 (2019) г. Kazan, Russia, 2019, стр.18-20.

34.Юсифов С.И., Амирасланов Б.К. Нечеткая система автоматической настройки вибрационно-частотного плотномера // İformasiya sistemləri və texnologiyalar: nailiyyətlər və perspektivlər. Beynəlxalq elmi konfransın materialları, Sumqayıt ş., 2020, s.330-331.

35. Юсифов С.И., Фархадов З.И., Амирасланов Б.К. Система автоматической настройки вибрационно-частотного плотномера на основе нечеткой логики //

Международной научно-технической конференции”, Пром-Инжиниринг”, г. Сочи, 2021, стр. 60-63.

36. Amiraslanov B.K., Abdulova N.A., Abdullayeva S.C., Huseynov A.S., Kravets A.İ.. Influence of the pressure of the measured liquid on the readings of vibration-frequency density sensors in the chemical industry // III International conference mip: engineering-2021: Advanced technologies in material science, mechanical and automation engineering, Scopus preview. E3S Web of Conferences, г. Krasnoyarsk, Russia, 2021, стр. 129-135.

Həmmüəlliflərlə birgə nəşr edilmiş əsərlərdə iddiaçının öyrənilən sahədə keyfiyyət göstəricilərinin hesablanması üçün dəqiq və təqribi düsturların tapılması, onların yaxşılaşdırılması və eksperimentlərin aparılması və nəticələrin emal edilməsindən ibarət olmuşdur.

Dissertasiya müdafiəsi 28 iyun 2022-ci il tarixində saat 13⁰⁰ Sumqayıt Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən FD.02.25 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: AZ5008, Sumqayıt şəhəri, 43-cü məhəllə.

Dissertasiya ilə Sumqayıt Dövlət Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

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

Avtoreferat 26 may 2022 il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 25.05.2022
Kağızın formatı: 60*84 /1/16
Həcm: 45 972
Tiraj: 100 nüsxə