

Axında neftin sıxlığının avtomatlaşdırılmış ölçmə sisteminin və xətanın tədqiqi

M.M. İsayev, t.e.n.¹, M.B. Məmmədova²,
N.M. Xasayeva³, F.Ş. Ağayeva⁴,
N.X. Badalova¹

¹İdarəetmə Sistemləri İnstitutu,

²Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti,

³Azərbaycan Texniki Universiteti,

⁴Sumqayıt Dövlət Universiteti

Açar sözlər: neft, axın, sıxlıq, ölçmə, test alqoritmi, xəta, qiymətləndirmə.

e-mail: mezahir@bk.ru

DOI.10.37474/0365-8554/2020-12-39-44

Исследование системы автоматизированного измерения плотности нефти в потоке и погрешностей

M.M. İsayev, k.t.n.¹, M.B. Məmmədova², N.M. Xasayeva³,
F.Ş. Ağayeva⁴, N.X. Badalova¹

¹Институт систем управления,

²Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,

³Азербайджанский технический университет,

⁴Сумгайтский государственный университет

Ключевые слова: нефть, поток, плотность, измерение, алгоритм испытаний, погрешность, оценка.

Рассмотрены вопросы определения количества жидкого топлива с высокой точностью измерения, транспортируемого по нефтепроводам. Алгоритм работы вибрационно-частотного плотнотера для автоматизированного измерения плотности жидкого топлива с повышенной точностью измерения в технологическом процессе в условиях эксплуатации основан на гибридном тестовом методе. Для этой цели были разработаны тестовые уравнения для измерительных трактов с использованием простых аддитивных и мультипликативных тестов, а также их сочетаний, составлены тестовые уравнения, в результате решения данных уравнений получено основное тестовое уравнение. Приведены математико-статистическая оценка результатов измерений плотнотера, корректирующие тестовые алгоритмы для определения погрешности измерений и составляющих погрешности, методика автоматизированной калибровки.

Study oil density in flow, system of automated measurement and inaccuracies

M.M. İsayev, Cand. in Tech. Sc.¹, M.B. Məmmədova², N.M. Xasayeva³,
F.Ş. Ağayeva⁴, N.X. Badalova¹

¹Institute for Management Systems,

²Azerbaijan State University of Oil and Industry,

³Azerbaijan Technical University,

⁴Sumgait State University

Keywords: oil, flow, discharge, density, measurement, test algorithm, inaccuracy, estimation.

The paper reviews the issues of specification of fluid fuel amount with high measuring accuracy transported through oil pipelines. The operation algorithm of vibration-frequency densitometer for automatic measurement of fluid fuel density with high measuring accuracy in technological process in the exploitation conditions is based on the hybrid test method. For this purpose test equations on measuring links using simple additive and multiplicative tests, as well as their combinations have been developed, test equations composed, and as a result of their solution the main test equation obtained. The mathematic-statistic estimation of the results of densitometer measurements correcting test algorithms for the definition of measurement errors and composing inaccuracies, the method of automated calibration are presented as well.

Giriş

Neft sənayesində maye halında olan yanacağı axında sıxlığı hazırda primitiv üsulla, yəni nümunələr götürməklə laboratoriyaya şəraitində təyin edilir. Birbaşa istismar şəraitində texnoloji xətlər-

də avtomatlaşdırılmış yüksək ölçmə dəqiqliyi və etibarlılığa malik sıxlıqölçən qurğular, demək olar ki, mövcud deyildir, olanlar isə dinamik axın şəraitində yüksək ölçmə dəqiqliyini təmin etmir [1-4]. Axında avtomatlaşdırılmış sıxlıqölçən (ASÖ)

qurğusunun ilk nümunəsi 1980-ci illərdə Azərbaycanca, "Neftqazavtomat" EJB-də layihələndirilmiş, cihazqayırma zavodlarında kütləvi istehsal edilərək keçmiş SSRİ-nin neft obyektlərində geniş tətbiq edilmişdir. AİP-2M adı ilə tanınan ASÖ-nün fəaliyyət funksiyası struktur-alqoritmik ölçmə üsuluna əsaslanır və istismar şəraitində bu üsulun reallaşdırılması çətin və müəkkəb olduğundan ölçmə dəqiqliyi və etibarlılığı aşağıdır [3]. Həm də bu çeviricilərin istehsalı müasir texnologiyalara cavab vermədiyi üçün onların tətbiqi məhduddır.

Məqalədə bu növ çeviricilərin yüksək texnologiyalar əsasında istehsalı, fəaliyyət funksiyalarının genişləndirilməsi, ölçmə dəqiqliyi və etibarlılığının yüksəldilməsi, eyni zamanda hibrid test alqoritmlərinin tətbiqilə avtomatlaşdırılmış kalibrəmə məsələləri həll edilir.

ASÖ-nin həyəcənlandırılan metal borusunda maye axınının sıxlığından asılı olaraq borunun məxsusi rəqsləri (titrəyiş) qiymətcə dəyişir. Bu prinsip əsasında olan sıxlıqölçmənin neft sənayesində birbaşa istismar şəraitində, axında maye yanaçağın sıxlığının ölçülməsi məqsədilə tətbiqi böyük praktiki əhəmiyyət daşıyır [3].

Aparılmış tədqiqatların nəticələri göstərdi ki, axın borusunun mexaniki rəqslərinə təsir edən bütün çoxsaylı kəmiyyətlərin qiymətləri nəzərə alınmaqla kifayət qədər mükəmməl çevirmə xarakteristikasına (ÇX) və ona adekvat daqiq riyazi modelə (RM) nail olmaq mümkündür. Bu zaman ASÖ-nin ÇX-in identifikasiyasını yüksək dəqiqliklə həyata keçirmək üçün ona təsir edən bütün parametrlərin bir-biri ilə korrelyasiya əlaqələri maksimum nəzərə alınmalıdır. Odur ki, ölçmə prosedurunun hibrid test tənlikləri əsasında qurulması, ölçmə xətasının təshihəedici alqoritmlərinin adekvatlığının təmini və düzgün reallaşdırılması vacibdir [1, 5].

Məsələnin qoyuluşu

Ölçmə prosesi həyata keçirilən zaman tərtib ediləcək test tənliklərinin sayının minimallığı və testlərin optimal yığımla gözlənilməklə, keyfiyyətə əsas xəta təşkilədicilərinin avtokompensasiyasını yüksək səviyyədə həyata keçirən xətaların təshihəedici alqoritmlərinin işlənilməsi. Məsələnin həllinin reallaşması üçün aşağıdakı şərtlər nəzərə alınmalıdır [1, 5]:

– çeviricinin hər iki metal borusunun titrəyişlərini əks etdirən proses qeyri-xətti funksiya, digər parametrləri isə sabitdir;

– boruların həyəcənlandırıcı elektromaqnit sistemini dayandıqları və histerezi isə olmur;

– burulğan cərəyanlar-səbəbdən enerji itkisi olmur.

Məsələnin sxematik həlli

Qeyd edilən üsul və vasitələrlə maye axınının sıxlığını yüksək dəqiqliklə ölçmək üçün həssas element – boru yüksəkkeyfiyyətli metaldan seçilir, həyəcənlandırıcı elektromaqnit sistem qoyulmuş tələbləri ödəyir, hasil edilən tezlik çıxış siqnalı şəklində itkisiz testləşdirilmiş ölçmə və idarəetmə sistemində ötürülür, bunun üçün ASÖ-nin çıxış siqnalı üzərində tezlik moduliyası edilir.

Bu üsulun səmərəliliyi aşağıdakılarla şərtlənir:

– tezlik – moduliyası siqnalın məncələrlə yüksək davamlılıq, adekvat çeviricilərin müqayisədə tezlik vericilərinin ölçmə dəqiqliyinin yüksəlməsi, ölçmə zəncirinin sonrakı haqlarının nəticəvi xətasına təsirinə azaldılması və informasiyanın böyük məsafələrə itkisiz ötürülməsi;

– ASÖ-nün işçi tezliyinin şəkəbə gərginliyinin tezliyindən dəfələrlə böyük olması ilə əsas siqnalı kənar təsirlərdən mühafizə etməsi;

– ASÖ-nün çıxışında alınan tezlik siqnalında informasiya daşıyıcısı kimi impulsdar arasında mövcud olan zaman intervalları götürülür və bu da impulsların rəqəm şəklində çevrilməsində nisbətən daha daqiq və sadə olur;

– tezlik moduliyası ASÖ-nin sərf etdiyi güc 10 millivattı aşmır.

ASÖ-nün fəaliyyəti mexaniki rezonatorların məxsusi rəqslərinin tezliyinin vericinin həssas elementindən axan mayenin sıxlığından asılılığına əsaslanır. Çevirici, içərisində sıxlığı ölçülmək maye axın titrəyişli həssas element (boru), etalon maye doldurulmuş borucuq, borularda mexaniki rəqs (titrəyiş) yaradan sinxron rezonatorlar və elektron moduldan ibarətdir. ASÖ-nin həyəcənlandırıcı rəqs sistemləri mərkəzləndirilmiş və böyük davamlılıq malik rezonatorlardan ibarətdir və ölçmə prosesində onların rəqslərinin rezonans tezliyinin qiyməti müəyyən edilir [6].

Həssas element silindrik borucuqdan ibarət olub hər iki ucundan və ya bir tərəfindən tərən-məzə dayağa bərkidilir. Titrəyiş rəqs rejiminə gətirilən həyəcənlandırıcı sistem, gücləndirici və rəqslərinin qəbulədicisindən ibarətdir. Borucuq rəqslərinin tezliyi çıxış siqnalının tezliyinə müəyyən edir, avtorəqslərin qəbulədicisi və həyəcənlandırıcı qismində əsasən polyarlaşdırılmış elektromaqnitlərdən istifadə edilir.

Neft kəmərlərində məhsulun kommersiya uçot sistemində testləşdirilmiş ASÖ-nün tətbiq edilməsinə böyük ehtiyac var. Məhsulun əmtəə-kommersiya əməliyyatlarını yüksək dəqiqliklə həyata

keçirmək üçün işlənilməsi tələb olunan testləşdirilmiş informasiya-ölçmə sistemlərinin (İÖS) strukturunda bu qurğu ilə yanaşı digər müasir istehsal texnologiyaları əsasında istehsal olunan ilkin ölçmə vasitələrinin istifadəsi nəzərdə tutulur. Bu zaman istismar parametrlərinin təsirinə hər bir vericinin çevirmə funksiyası (CF) qeyri-xətti şəkildə düşür və onların hər birinin yüksək dəqiqliklə identifikasiyası, riyazi modelinin təyini vacib məsələyə çevrilir. Məhz hər bir vericinin daqiqlik sıxlığı onun fərdi ÇF-nin təyini olunma daqiqiliyindən asılı olur.

ÇX-lər çoxhədli şəkildə təzahür edir və onların əmsalları stabilyyəti xüsusi əhəmiyyət kəsb etməklə əsas xəta daşıyıcılarını əks etdirir. Testləşdirilmiş İÖS vericilərdən topladığı informasiya müvafiq alqoritmlər əsasında emal etməklə hər bir ÇX-nin cari vəziyyətini, qeyri-xəttiliyini, əmsallarının qiymətlərini təyin edir. Beləliklə, cari ölçmələrdə reallaşan test alqoritmlərinin köməyi ilə ilkin ölçmə vasitələrinin avtokorreksiyası reallaşmış olur.

Məsələnin riyazi həlli

Aparılan sınaqların və riyazi qiymətləndirmələrin nəticələrinə əsasən ÇF ümumi şəkildə aşağıdakı kimi olur [6, 7]:

$$f = f_0(1 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + \dots), \quad (1)$$

burada f – çeviricinin çıxış tezliyi; f_0 , b_1 , b_2 , b_3 – çeviricinin ÇF-nin parametrləri, əmsalları; x – ölçmə kəmiyyəti, sıxlıqdır (p).

MY-nin axın sıxlığının tezlik prinsipli ölçülməsi zamanı ÇF-yə daxil olan parametrləri (1)-də nəzərə alsaq, uyğun olaraq aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$f = a_0 + a_1p + a_2p^2 + a_3p^3, \quad (2)$$

burada $a_0 = f_0$; $a_1 = f_0b_1$; $a_2 = f_0b_2$; $a_3 = f_0b_3$.

ASÖ-nin ilkin ÇX-si (2) tənliyi ilə ifadə olunduğundan alqoritmik-test üsulu bu riyazi model əsasında həyata keçiriləcəkdir.

İterasiyalı qiymətləndirmə. İlk növbədə (2) əsasında linxi xətti hissəsinə görə sıxlığın tezlikdən asılılığını, çevirmənin təqribi qiymətini tapırıq:

$$\rho_1 = \frac{f - a_0}{a_1}. \quad (3)$$

Birinci mərhələdə ölçmə xətası aşağıdakı kimi təyin olunacaqdır:

$$\Delta_1 = a_2\rho_1^2 + a_3\rho_1^3. \quad (4)$$

Ona tezliyin daqiqlaşdırılmış qiyməti aşağıdakı kimi təyin ediləcəkdir:

$$f_1 = f - \Delta_1. \quad (5)$$

Beləliklə, sıxlığın daqiqlaşdırılması qiyməti tez-

liyin daqiqlaşdırılması qiymətinə görə aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$\rho_{11} = \frac{f_1 - a_0}{a_1}. \quad (6)$$

Beləliklə, bu mərhələdə tezliyin qiymətinin daqiqlaşdırılması prosesi başa çatır və daha daqiq qiymət almaq üçün bu əməliyyatı dövrü olaraq təkrarlamaq lazımdır. Hər sonrakı dövrdə xətti xətanın qiymətləndirilməsi üçün əvvəlki dövrün sonunda alınmış sıxlığın daqiqlaşdırılması qiymətindən istifadə olunur. Dövrünün sayı n sıxlığın ölçülməsi daqiqiliyindən asılı olub, aşağıdakı şərtlə müəyyən edilir:

$$|\rho - \rho_{1n}| \leq \Delta_n, \quad (7)$$

burada Δ_n – sıxlığın müəyyən edilməsində mütəlaq xəta; n – sıxlığın daqiqlaşdırılması qiymətini müəyyən edən dövrlərin sayı; ρ_{1n} – n -ci dövrün sonunda alınan sıxlıqdır.

Aşağıdakı ifadə (7) bərabərsizliyinin ödənilməsi prosesinin yerinə yetirilməsi üçün kafi və zəruri şərtidir:

$$\lim (\rho - \rho_{1n}) = 0. \quad (8)$$

Yuxarıda qeyd edilənlər iterasiya ölçmə üsulunu şərtləndirir, yəni sıxlığın haqiqi qiymətli təyin olunmuş qiymətinin fərqi n dövrlərinin sonsuz artımında 0-a yaxınlaşmalıdır.

MY-nin sıxlığının ölçülməsində titrəyişli – tezlikli verici istifadə ediləndik, yuxarıda şərh olunan alqoritm sıxlığın təyin edilməsinə imkan versə də yüksək ölçmə nəticəsi əldə olunmur. Göründüyü kimi, vericinin ÇX-nin dərcələnməsi tezliyin sıxlıqdan praktiki olaraq xidməti dərəcə ilə asılılığını təsvir edir. Baxılan halda təqribi dərəcə ilə asılılığını təsvir edir. Baxılan halda təqribi dərəcə ilə asılılığını təsvir edir. Baxılan halda təqribi dərəcə ilə asılılığını təsvir edir. Baxılan halda təqribi dərəcə ilə asılılığını təsvir edir.

Test alqoritmi və ölçmə xətasının qiymətləndirilməsi. Test üsulu ilə sıxlığın ölçülməsində və aparılan çoxsaylı sınaqlar zamanı alınmış ölçmə nəticələri xeyli yüksək olduğu üçün ASÖ-nin ÇF-nin riyazi modelinin ikinci və ya üçüncü dərəcəli çoxhədli şəkildə götürməsi kifayət edir və tələb olunan ölçmə dəqiqliyi daha tez əldə olunur [1, 3, 5]. Bunları nəzərə alsaq (2) tənliyi aşağıdakı kvadrat üçhədli şəkildə qəbul edilir:

$$f_x = b_0 + b_1\rho_x + b_2\rho_x^2, \quad (9)$$

burada f_x – vericinin çıxış kəmiyyəti, tezlik; ρ_x – vericinin giriş kəmiyyəti, ölçmə parametri, sıxlıq; b_0 , b_1 , b_2 – vericinin ÇF-nin parametrləri, əmsallardır.

Testləşdirilmiş İÖS-in test algoritminin sintezinə nəzər salaq: ÇX kvadrat tənlik şəklində qəbul edildiyi üçün ölçmə taktlarının sayı $n = 3$ olacaq, testlərin optimal yığımı isə aşağıdakı kimi təyin olunaçaqdır:

(9) modelində ölçmə kəmiyyəti ρ_x ilə eyni vaxtda uyğun olaraq additiv ($\rho_x + \rho_{\alpha}$), multiplikativ ($2\rho_x$) və qarışıq ($2\rho_x + \rho_{\alpha}$) testlərdən istifadə edilməklə aşağıdakı əsas test tənliklərini alırıq:

$$\begin{cases} f_0 = b_0 + b_1\rho_x + b_2\rho_x^2 \\ f_1 = b_0 + b_1(\rho_x + \rho_{\alpha}) + b_2(\rho_x + \rho_{\alpha})^2 \\ f_2 = b_0 + b_12\rho_x + b_2(2\rho_x)^2 \\ f_3 = b_0 + b_1(2\rho_x + \rho_{\alpha}) + b_2(2\rho_x + \rho_{\alpha})^2 \end{cases} \quad (10)$$

Bu tənliklər sistemə daxil olan hər bir tənlik müvafiq ölçmə taktını ifadə edir və onların birgə həlli ölçmə nəticəsini verir:

$$\frac{\rho_x + \rho_{\alpha}}{\rho_x - \rho_{\alpha}} = (f_1 + f_3) - (f_0 + f_2), \quad (11)$$

burada f_0, f_1, f_2 və f_3 - müvafiq ölçmə taktlarında TTŞÖ-nin çıxış kəmiyyətinin qiymətləridir.

(11) ifadəsindən ρ_x ölçmə kəmiyyəti üçün aşağıdakı düsturu almış oluruq ki, bu da testləşdirilmiş TTŞÖ-nin ÇX-ni ifadə edir:

$$\rho_x = \frac{(f_1 - f_2) + (f_0 - f_3)}{(f_0 - f_3) - (f_1 - f_2)} \rho_{\alpha}. \quad (12)$$

Testləşdirilmiş TTŞÖ-nin ÇF-nin aproksimasiyaedici xətasını tədqiq edək:

ÇF-nin (9) aproksimasiyaedici ifadəsində hər b_n aproksimasiya sahəsinə uyğun bir parametris real cari qiymətinin b_{nN} nominal qiymətinə bərabər olmadıqca nəzərə alsaq, onda ρ_x ($\rho_x + \rho_{\alpha}$), ($2\rho_x$) və ($2\rho_x + \rho_{\alpha}$) kəmiyyətlərinin ölçmə taktlarının nəticələri qiymətə əhəmiyyət kəsb edən xətalara malik olacaq. Bu xətaləri (10) tənliklər sistemində nəzərə alsaq aşağıdakı tənliklər sistemini alırıq:

$$\begin{cases} f_0 + \Delta_0 = b_0 + b_2\rho_x + b_3\rho_x^2 \\ f_1 + \Delta_1 = b_0 + b_2(\rho_x + \rho_{\alpha}) + b_3(\rho_x + \rho_{\alpha})^2 \\ f_2 + \Delta_2 = b_0 + b_22\rho_x + b_3(2\rho_x)^2 \\ f_3 + \Delta_3 = b_0 + b_2(2\rho_x + \rho_{\alpha}) + b_3(2\rho_x + \rho_{\alpha})^2 \end{cases} \quad (13)$$

burada $\Delta_0, \dots, \Delta_3$ - ölçmə taktlarının SÖ-nin çıxışı-

na gətirilmiş xətalərin qiymətləridir.

(11) ifadəsinin (13)-də nəzərə alsaq, testləşdirilmiş ÖS üçün ƏTT-in aşağıdakı ifadəsini alırıq:

$$\frac{\rho_x + \rho_{\alpha}}{\rho_x - \rho_{\alpha}} = \frac{(f_0 - f_3) + (\Delta_0 - \Delta_3)}{(f_1 - f_2) + (\Delta_1 + \Delta_2)} \quad (14)$$

(4) ifadəsindən fərqli olaraq (14)-də ölçmə taktlarının xətaləri nəzərə alındığı üçün bu ifadələrin fərqi testləşdirilmiş ÖS-in xətasını (Δ_{gr}) verəcəkdir:

$$\Delta_{gr} = [\rho_x + \rho_{\alpha}] (\Delta_1 - \Delta_2) + [\rho_x + \rho_{\alpha}] (\Delta^3 - \Delta_0). \quad (15)$$

(15) ifadəsi testləşdirilmiş ÖS-in yekun xətasını təyin edən funksiya olduğundan additiv və multiplikativ təsirlərinin, həmçinin $\Delta_{gr}, \dots, \Delta_3$ xətalərinin qiymətlərini yerinə qoymaqla bütün xəta təşkilədicilərinin riyazi modelini almış oluruq. (3.28) ifadəsinə aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\Delta_{gr} = \rho_{\alpha} \{(\Delta_1 - \Delta_2) - (\Delta_3 - \Delta_0)\} + \rho_x \{(\Delta_1 - \Delta_2) + (\Delta_3 - \Delta_0)\}. \quad (16)$$

Testləşdirilmiş ÖS-in girişinə gətirilmiş Δ_{gr} mütləq xəta üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\begin{aligned} \Delta_{gr} &= f_1^{-1} [f_1(x) + \Delta_{gr}] - x = \\ &= \frac{\Delta_{gr}}{f_1(x)}, \end{aligned} \quad (17)$$

burada $f_1(x) = (y_1 - y_0) (\rho_x - \rho_{\alpha}) + (y_2 - y_1) (\rho_x + \rho_{\alpha})$.

(11) ifadəsinə $x = \theta$ görə differensiallasaq $f_1'(x)$ üçün aşağıdakı qiyməti alırıq:

$$f_1'(x) = [(y_2 - y_1) - (y_1 - y_0)]. \quad (18)$$

(15) və (18) ifadələrinin (17)-də yerinə yazsaq aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\begin{aligned} \Delta_{gr} &= \rho_{\alpha} \left[\frac{(\Delta_1 - \Delta_2) - (\Delta_3 - \Delta_0)}{2\rho_{\alpha} x} \right] + \\ &+ \rho_x \left[\frac{(\Delta_1 - \Delta_2) + (\Delta_3 - \Delta_0)}{\times (b_{2SH} + b_{3SH}(\rho_x + \rho_{\alpha}))} \right]. \end{aligned} \quad (19)$$

Əgər ilkin ÖS-in real ÇF-i üçüncü dərəcəli çoxhədlişər şəklində hissə-hissə qeyri-xətti aproksimasiya olunursa, onda ÇF-nin identifikasiyasında müvafiq algoritmlə reallaşır və sistemin çıxışına gətirilmiş Δ'_{igr} xətası aşağıdakı kimi olur:

$$\begin{aligned} \Delta'_{igr} &= \frac{\Delta'_{gr}}{f_1'(x)} = \\ &= \frac{(\Delta_0 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_0 - 2\Delta_1 - \Delta_4)\rho_x}{2\rho_{\alpha}^2 \{2b_{3s} + 3b_{3s}[3\rho_x + 2\rho_{\alpha}]\}} + \\ &+ \frac{(\Delta_2 - \Delta_0 + \Delta_3 - \Delta_3)}{2\rho_{\alpha} \{2b_{3s} + 3b_{3s}[3\rho_x + 2\rho_{\alpha}]\}}, \end{aligned} \quad (20)$$

burada

$$\begin{aligned} \Delta'_{gr} &= (\Delta_0 + \Delta_3)(2\rho_x - \rho_{\alpha}) + \\ &+ (\Delta_1 + \Delta_2)(2\rho_x + \rho_{\alpha}) - 4\rho_x(\Delta_1 + \Delta_2). \end{aligned} \quad (21)$$

Göründüyü kimi, ölçmə taktlarının Δ_i xətaləri çoxlu sayda təsadüfi faktorların (amillərin) nəticəsidir. Ona görə də, əgər Δ_i xətalərinin təşkilədiciləri çəki əmsallarına görə eyni tərtibə malikdirsə, onda mərkəzi limit teoreminə uyğun olaraq Δ_i xətalərinin normal paylanma qanununa tabe olması ideyasını yitirmək olar [1, 5-7].

Bunun nəticəsində (16), (19), (20) və (21) ifadələrindəki $\Delta_0, \Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_{gr}$ xətaləri da təsadüfi kəmiyyətlər olub paylanma qanunları Δ_i təsadüfi kəmiyyətlərinin paylanmaları eyni kimi təyin olunur və ona görə də normal qəbul edilə bilər. Odur ki, onların tam təsviri üçün M_{Δ_i} - riyazi gözləmə və D_{Δ_i} - dispersiyaları bilmək kifayətdir.

(16), (19), (20) və (21) düsturlarının analizi nəticəsində kombinasional testlər əsasında reallaşan testləşdirilmiş ÖS-in xətalərinin aşağıdakı əsas xüsusiyyətlərini qeyd etmək olar.

1. Əgər ölçmə taktlarının Δ_i mütləq xətaləri (5) və (10) algoritmlərinin reallaşması ilə eyni MΔ riyazi gözləmələrə malikdirsə, onda bu algoritmlər üzrə fəaliyyət göstərən testləşdirilmiş ÖS-in xətalərinin riyazi gözləmələri sıfır bərabər olacaqdır ($M_{\Delta_i} = 0$).

2. Əgər alınmış test tənlikləri arasında əlaqələr (additiv və kombinasional testlərdə θ_i sabit təşkilədicilərin axtarılma münasibəti [1]) aşağıdakı şərtləri ödəyərsə

$$\begin{cases} \theta_{b_{i+1}} - \theta_b = \theta_1 \\ \theta_{\lambda - \lambda_{i-1}} = \theta_1, \end{cases} \quad (22)$$

burada $1 \leq b \leq m, m + 2 \leq \lambda \leq n$ -dir.

Ona tədqiq edilən ilkin ölçmə sisteminin çevirmə xarakteristikasının identifikasiyası üçün bu şərt daxilində seçilmiş qiymətlər arasında θ_i optimal nisbət qarlaşır.

İstifadə olunan testlərin θ_i additiv sabit təşkilədiciləri (22) şərti daxilində sonsuz kiçik qiymətə yaxınlaşarsa, onda ÖS-nin girişinə gətirilmiş mütləq xəta sonsuzluğa yaxınlaşar. Eyni zamanda $k \rightarrow 1$ olduqda Δ_{gr} və Δ'_{igr} xətaləri da sonsuzluğa yaxınlaşar.

Buradan belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, (22) şərti daxilində sadə additiv və multiplikativ testlər əsasında ÖS-nin ölçmə dəqiqliyinin artırılması algoritmlərini reallaşdıran testləşdirilmiş ölçmənin xətalərinin əsas xüsusiyyətləri additiv, multiplikativ və kombinasional testlərin optimal yığımı əsasında fəaliyyət göstərən testləşdirilmiş İÖS üçün özünü doğruldur.

Ölçmə taktlarının xətaləri bir-birindən asılı olmadıqda, işlənmiş (11) algoritminin tətbiqi sayəsində, testləşdirilmiş ÖS-in xətalərinin dispersiyaları üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\begin{aligned} \sigma_{\Delta_i}^2 &= \sigma_{\Delta_0}^2 [x(k-1) - \theta]^2 + \\ &+ \sigma_{\Delta_1}^2 [x(k-1) + \theta]^2 + \sigma_{\Delta_2}^2 [x(k-1) + \theta]^2 + \\ &+ \sigma_{\Delta_3}^2 [x(k-1) - \theta]^2; \end{aligned} \quad (23)$$

(23) ifadəsinə uyğun olaraq axırda tətbiq etdiyimiz ÇX-iv kvadrat üçhədli şəklində olan sıxlıq çeviricisi üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\begin{aligned} \sigma_{\Delta_i}^2 &= \sigma_{\Delta_0}^2 (\rho_x - \rho_{\alpha})^2 + \sigma_{\Delta_1}^2 (\rho_x + \rho_{\alpha})^2 + \\ &+ \sigma_{\Delta_2}^2 (\rho_x + \rho_{\alpha})^2 + \sigma_{\Delta_3}^2 (\rho_x - \rho_{\alpha})^2 = \\ &= (\rho_x - \rho_{\alpha})^2 (\sigma_{\Delta_0}^2 + \sigma_{\Delta_3}^2) + \\ &+ (\rho_x + \rho_{\alpha})^2 (\sigma_{\Delta_1}^2 + \sigma_{\Delta_2}^2). \end{aligned} \quad (24)$$

ÇX-iv kub tənlik şəklində olan testləşdirilmiş ÖS-in xətalərinin dispersiyaları üçün isə aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\begin{aligned} \sigma_{\Delta_i}^2 &= (\sigma_{\Delta_0}^2 + \sigma_{\Delta_3}^2) (z - \theta)^2 + \\ &+ (\sigma_{\Delta_1}^2 + \sigma_{\Delta_2}^2) (z + \theta)^2 + \\ &+ 4z^2 (\sigma_{\Delta_1}^2 + \sigma_{\Delta_2}^2), \end{aligned} \quad (25)$$

burada $\sigma_{\Delta_0}, \dots, \sigma_{\Delta_3}$ - uyğun taktlarda ölçmə xətalərinin orta kvadratik meyilmələridir; $z = x(k-1)$.

Tədqiq etdiyimiz sıxlıq çeviricisinin xətalərinin dispersiyası üçün (3.38)-də aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\begin{aligned} \sigma_{\Delta_i}^2 &= (\sigma_{\Delta_0}^2 + \sigma_{\Delta_3}^2) (z - \theta)^2 + \\ &+ (\sigma_{\Delta_1}^2 + \sigma_{\Delta_2}^2) (z + \theta)^2 + \\ &+ 4z^2 (\sigma_{\Delta_1}^2 + \sigma_{\Delta_2}^2) = \\ &= (\sigma_{\Delta_0}^2 + \sigma_{\Delta_3}^2) (\rho_x - \rho_{\alpha})^2 + \\ &+ (\sigma_{\Delta_1}^2 + \sigma_{\Delta_2}^2) (\rho_x + \rho_{\alpha})^2 + \\ &+ 4\rho_x^2 (\sigma_{\Delta_1}^2 + \sigma_{\Delta_2}^2), \end{aligned} \quad (26)$$

(24) və (26) ifadələrindən göründüyü kimi, ölçmə dəqiqliyinin artırılmasının algoritmik-test üsulunda testləşdirilmiş ÖS-in ƏTT-in Δ_i xətasının dispersiyası bir taktlı ölçmənin dispersiyası ilə müqayisədə güclüncür.

Nəticə

Beləliklə, testləşdirilmiş ÖS-in metroloji xarakteristikasının tədqiqi göstərir ki, bu növ sistemlərin nəticəvi ölçmə xətasına ən çox aşağıdakı təşkilədicilər təsir edir:

- additiv və multiplikativ testlərin sabit təşkilədicilərinin istifadəsi nəticəsində yaranan xətanın təşkilədicisi;
- testləşdirilmiş ÖS-in statik xətasının korrel-

yasiya olunmamış təşkilədicisi;

- testləşdirilmiş ÖS-in dinamik xətasının təşkilədicisi;
- testləşdirilmiş ÖS-in real ÇF-nin qəbul olunmuş riyazi modelinin adekvat olmaması səbəbindən yaranan xəta təşkilədicisi.

İşlənmiş test alqoritmləri real olaraq AİP-2M nümunəsi üzərində sınaqdan keçirilmiş, ölçmə xətalı qiymətləndirilmiş və xəta təşkilədicilərinin 2–3 dəfə azalması müşahidə olunmuşdur.

Ədəbiyyat siyahısı

1. *Isayev M.M.* Ölçmə sistemlərinin dəqiqliyinin yüksəldilməsinin alqoritmik-test üsulları. – Bakı: Elm, 2018, 206 s.
2. *Васильев Г.Г., Коробков Г.Е., Коршак А.А. и др.* Трубопроводный транспорт нефти / под ред. С.М. Вайнштока: учеб. для ВУЗ-ов. – М.: ООО “Недра-Бизнесцентр”, 2002, т. 1, 407 с.
3. *Исаев М.М.* Методы и средства коммерческого учета нефтепродуктов в потоке. – Баку: Элм, 2010, 164 с.
4. *Фарзана Э.Н.* Системы комплексного измерения параметров потока жидкостей и газов на базе сужающих устройств: дис. докт. техн. наук. – Баку, 2005, 259 с.
5. *Бромберг Э.М., Куликовский К.Л.* Тестовые методы повышения точности измерений. – М.: Энергия, 1987, 176 с.
6. *Артемьев Б.Г., Лукашов Ю.Е.* Проверка и калибровка средств измерений. – М.: ФГУП “Стандартинформ”, 2006, 408 с.
7. *Маммадов Н.Ə., Hacıyev Ç.М.* Ölçmə nəticələrinin emal metodları. – Bakı: Sabah, 2008, 275 s.
8. *Билinskiy И.И., Огородник К.В., Яремшана Н.А.* Анализ методов и средств измерения плотности нефтепродуктов // Автоматика и информационно-измерительная техника. Наукові праці ВНТУ, 2016, № 2, с. 1-14.

References

1. *Isayev M.M.* Olchme sistemlerinin degigliyinin yukseldilmesinin alqoritmik-test usullary. – Bakı: Elm, 2018, 206 s.
2. *Vasil'yev G.G., Korobkov G.E., Korshak A.A. i dr.* Truboprovodniy transport nefiti / pod red. S.M. Vainshtoka: ucheb. dlya VUZ-ov. – M.: ООО “Nedra-Biznesstentr”, 2002, t. 1, 407 s.
3. *Isayev M.M.* Metody i sredstva kommercheskogo uchyota nefteproduktov v potoke. – Bakı: Elm, 2010, 164 s.
4. *Farzane E.N.* Sistemy kompleksnogo izmereniya parametrov potoka zhidkostey i gazov na baze suzhayushchikh ustroystv: dis. dokt. tekhn. nauk. – Baku, 2005, 259 s.
5. *Bromberg E.M., Kulikovskiy K.L.* Testovye metody povysheniya tochnosti izmereniy. – M.: Energiya, 1987, 176 s.
6. *Artem'yev B.G., Lukashov Yu.E.* Poverka i kalibrovka sredstv izmereniy. – M.: FGUP “ Standartinform”, 2006, 408 s.
7. *Mammadov N.A., Hacıyev Ç.M.* Olchme netijelerinin emal metodlary. – Bakı: Sabah, 2008, 275 s.
8. *Bilinskiy I.I., Ogorodnik K.V., Yaremishana N.A.* Analiz metodov i sredstv izmereniya plotnosti nefteproduktov // Avtomatika i informatsionno-izmeritel' naya tekhnika. Naukovі prauі VNTU, 2016, No 2, s. 1-14.