

Tekančių skysčių klamos įtakos tūrio ir debito matavimui tyrimas

Nerijus Pedišius,

Gediminas Zygmantas,

Andrius Bončkus

*Lietuvos energetikos institutas,
Šiluminių įrengimų tyrimo
ir bandymų laboratorija,
Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas
El. paštas: nerijus@mail.lei.lt*

Straipsnyje nagrinėjama skysčių klamos įtaka plačiausiai praktikoje apskaitai naudojamų skystojo kuro ir kitų skysčių, kurių klampa smarkiai priklauso nuo jų rūšies ir temperatūros, matuoklių matavimo tikslumui. Skystojo kuro vartojimui ir jo kainai didėjant šis klausimas tampa ganėtinai svarbus.

Pateikiami eksperimentų rezultatai matuojant dyzelinį kurą, aviacinį žibalą ir benziną kameriniais skaitikliais jų eksploatacijos sąlygomis bei palyginimai su analogiškais rezultatais, gautais tiriant tą patį skaitiklį laboratorinėmis sąlygomis. Rezultatai apibendrinami taikant tekėjimo dėsnų analizės rezultatus. Pasiūlyti būdai matavimo tikslumui įrengimo vietose užtikrinti taikant kilnojamus etalonus.

Raktažodžiai: skysčių srautų matavimas, tūris, debitas, klampa, matavimų tikslumas

1. ĮVADAS

Tekančio skystojo kuro matavimų tikslumo svarba ir su tuo susijusios problemos bei sprendimo būdai buvo iš dalies aptarti darbe [1]. Tačiau išlieka mažai ištirta ir apibendrinta daugelio veiksnių, tokių kaip apskritai visiems skysčiams būdingos didelės jų fizinių savybių įvairovės ir jų priklausomybės nuo skysčio rūšies, temperatūros ir kitų parametru, įtaka matuoklių metrologinėms charakteristikoms.

Viena svarbiausių fizinių savybių, sąlygojančių skysčių tekėjimo ypatumus, yra jų klampa, kuri kinta dėl skysčio rūšies ir jo temperatūros. Be to, beveik visuomet praktikoje matuojamojo (darbinio) skysčio savybės ganėtinai skiriasi nuo skysčio-pakaitalo, naudojamo laboratoriniuose įrenginiuose matuokliams tirti ir kalibruoti, savybių.

Praktikoje ši įtaka pasireiškia matuojant įvairių rūšių skystojo kuro, tepalų ir alyvų bei maistinių skysčių, pvz., pienas ar jo produktai, kiekius. Vandens matavimuose tai mažiau svarbu, nes vandens tūrio ir debito matuokliai paprastai kalibruojami ar tikrinami taip pat naudojant vandenį, kurio klampa mažai priklauso nuo temperatūros, arba, jei to reikia, gali būti naudojamas reikalingos temperatūros vanduo.

Reikia atkreipti dėmesį į tai, kad su analogiška problema, turinčia tokią pat fizikinę priežastį ir aiškinimą, susiduriama matuojant gamtinių dujų srautus esant darbiniais slėgiams, kurie magistraliniuose vamzdiniuose gali siekti 5–6 MPa. Tačiau iki šiol dujų matuokliai daugiausia buvo kalibruojami ir tikrinami oro srautuose, esant įrenginiuose slėgiui, artimam atmosferos slėgiui. Didėjant reikalavimams dujų vartojimo apskaitos tikslumui, daugelyje šalių jau sukurti įrenginiai, kuriuose palaikomos sąlygos, artimos darbo sąlygoms, t. y. dujų matuokliai tiriami juos konstruojant ir kalibruojami natūralių dujų srautuose esant darbo jų parametrus.

Šiame darbe pateikiama preliminari poveikio mechanizmo analizė, tyrimo rezultatai ir siūlymai šiai problemai spręsti, skiriant svarbiausią dėmesį skysčių matuoklių kalibravimo klausimams. Tačiau dalis tyrimo rezultatų gali rasti taikymą konstruojant ar pasirenkant matavimams esamus tinkamiausios konstrukcijos matuoklius.

2. KLAMOS POVEIKIO MECHANIZMO ANALIZĖ

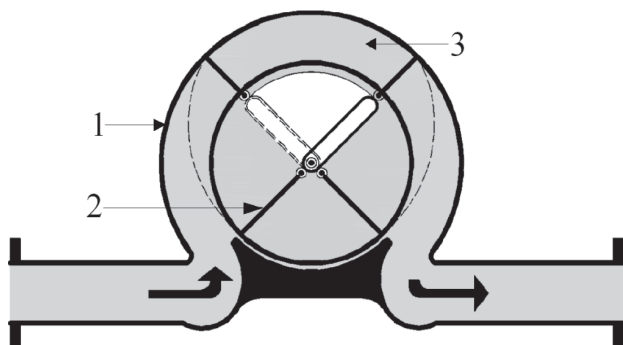
Iš karto reikia pabrėžti, kad nagrinėjami klausimai glaudžiai siejasi su matuoklio veikimo principais ir jo konstrukcijos ypatumais. Kadangi klampių skysčių matavimams iki šiol praktikoje daugiausia naudojami įvairūs mechaniniai kameriniai skaitikliai, todėl daugiausia dėmesio skirsime vienam šių matuoklių tipų, būtent, matuokliui su slankiomis mentėmis.

Kaip matyti iš 1 pav. pateiktos tokio kamerinio matuoklio schemos, jam veikiant skysčio tūris, pratekęs pro matuoklį per vieną apskuką ar ciklą, lygus matavimo kameros ar kelių kamerų, kurias suformuoja slankiosios mentės, tūriui. Žinoma, prie šio tūrio reikia pridėti dar skysčio tūrį, kuris perteka pro tarpus tarp kamerinio matuoklio menčių ir korpuso ir kuris nėra matuoklio registruojamas. Taip veikia visų tipų kameriniai matuokliai.

Taigi šio matuoklio nematuojamas skysčio pratekėjimas priklauso nuo skysčio klamos, kurią nusako naudojamo skysčio rūšis ir jo temperatūra.

Kitas labai svarbus nagrinėjant skysčio pratekėjimus per tarpus veiksnys – vienos tarpo sienelės, kurią sudaro mentė, nuolatinis judesys. Todėl teoriškai nagrinėjant šį uždavinį tenka remtis Poiseuille tekėjimo dėsniumais [2], plačiai taikomais tiriant judančių detalių tepimo uždavinius.

Bendruoju atveju pratekėjusio per matuoklį skysčio tūrį per tam tikrą laiką galima aprašyti lygtimi:



1 pav. Kamerinio matuoklio su slankiomis mentėmis schema: 1 – korpusas, 2 – darbo ratas-slankiosios mentės, 3 – matavimo kamera

$$V = n \cdot V_0 + q \cdot \tau; \quad (1)$$

čia V_0 – matavimo kameros tūris; n – matavimo kameros eigų skaičius per laiką τ ; q – pertekėjusio per tarpus tarp korpuso ir darbo rato skysčio debitas.

Dydis q faktiškai yra absoliučioji matuoklio paklaida, kuri priklauso nuo skysčio klamos, tarpų formos ir dydžio, apskukų dažnio ir matuoklio konstrukcijos bei paviršių kokybės. Tačiau aišku, kad didėjant klampai pasipriešinimas skysčio pertekėjimui per tarpus didėja ir matuoklis matuoja tūrį tiksliau. Taip pat galima daryti išvadą, kad matuoklis, iškalibruotas laboratorijoje su mažesnės klamos skysčiu ir įrengtas didesnės klamos darbinio skysčio tūriui matuoti, registruos didesnę tūrį, ir atvirkščiai. Taigi šios paklaidos įvertinimas sudaro pagrindinę svarstomąją problemą.

Kaip rodo darbų analizė [3], paprasčiausias klamos įtakos įvertinimas gali būti grindžiamas įvedant į eksperimentinius rezultatus apibendrinančias pareinomybes darbinio ir kalibravimo skysčių kinematinų klampų santykį:

$$q = q_k (v / v_k)^k; \quad (2)$$

čia q ir q_k – atitinkamai pertekėjusio per matuoklio tarpus darbinio ir kalibravimo skysčio kiekis; v ir v_k – atitinkamai darbinio ir kalibravimo skysčių kinematinės klamos; k – laipsnio rodiklis, kuris gali priklausyti konkrečiam tipui matuoklio nuo apskukų dažnio.

Daugiau galimybių teikia metodas, pagrįstas jėgų, veikiančių skysčiui pertekant matuoklį, analize. Būtent dėl jų sąveikos atsiranda slėgių prieš matuoklį ir po jo skirtumas, kuris priklauso nuo skysčio debito ir matuoklio darbo rato apskukų dažnio. Balansas jėgų, veikiančių matuoklyje, gali būti analizuojamas priimant, kad nusistovėjusiame tekėjimo režime jėgų, sukeliančių darbo rato apskukus, darbas prilygsta pasipriešinimo jėgų, kurias apsprendžia mechaninis ir hidraulinis pasipriešinimas, dar-

bui. Kadangi tarpai tarp darbo rato ir korpuso būna labai maži, tekėjimas tarpelyje beveik visada yra laminarinis ir pasipriešinimo jėgos dėl skysčio trinties į darbo ratą tarpelyje proporcingos skysčio tėkmės greičiui, inercijos jėgos – tėkmės greičio kvadratui ir vidinės trinties jėgos – tėkmės greičiui tam tikrame laipsnyje. Tėkmės greitis gali būti išreikštas priklausomybe nuo darbo rato apskukų skaičiaus – $v = k_1 \cdot n$.

Tuomet skirtuminis slėgis matuoklyje

$$\Delta p = A + B \cdot n + C \cdot n^k; \quad (3)$$

čia A , B ir C – matuokliui būdingos pastoviosios, kurias galima tiksliausiai įvertinti remiantis eksperimentinių tyrimų rezultatais; n – apskukų skaičius; k – rodiklis, priklausantis nuo skysčio klamos ir apskukų dažnio.

Jei priimti, kad tekėjimas matuoklio tarpuose laminarinis, pertekėjusio per tarpelius skysčio kiekis pagal teorinius sprendinius

$$q = k_0 \cdot \Delta p = k_0 (A + B \cdot n + C \cdot n^k); \quad (4)$$

čia $k_0 = (1 / 12\mu) \Sigma (bn^3 / l)$ – tam tikram matuokliui ir skysčiui būdinga pastovioji; b , h ir l – tarpelio geometriniai matmenys; μ – dinaminė klampa.

Anksčiau nagrinėti slėgio nuostoliai Δp sudaro tik dalį suminių slėgio nuostolių matuoklyje, nes dar prisideda slėgio nuostoliai, priklausantys nuo skysčio įtekėjimo į matuoklį ir ištekėjimo iš jo sąlygų bei skysčio trinties į matuoklio korpuso sienes. Šie nuostoliai yra proporcingi pertekancio skysčio kiekiui tam tikrame laipsnyje, kurio reikšmė yra tarp 1 ir 2. Taikant pastarąjį analizės metodą, galima paaiškinti matuoklių paklaidų kreivių pokyčius, priklausančius nuo matuoklio tipo, skysčio klamos ir kitų veiksnių.

Ši analizė rodo, kad skysčio klamos įtaka pasireiškia gana sudėtingai ir labai trūksta apibendrinančių išvadų, pagrįstų eksperimentiniais tyrimais. Praktikoje galima sutikti pavienes rekomendacijas, kurios nėra patvirtinamos konkrečiais rezultatais. Pavyzdžiui, kalibruojant vandeniu stacionarius pieno apskaitos įrenginius su mechaniniais-kameriniais skaitikliais [4], leidžiamosios paklaidų ribos perstumiamos nuo $\pm 0,50\%$ iki $(+ 0,20 - - 0,80)\%$. Tai rodo, kad kalibruojant vandeniu matuoklio rodmenys dirbtinai sumažinami, nes klampesniame darbiname skystyje matuoklis veikia tiksliau, sumažėjus pertekėjimams per tarpus tarp korpuso ir darbo rato.

Vokietijos fizikinis techninis institutas (PTB) parengė papildomas nuostatas [5] taikant OIML R117 [6] rekomendacijas praktikoje. Ypač daug dėmesio šiose nuostatose skiriama skysčių savybėms vertinti. Kaip matyti iš pateiktos 1 lentelės, naudojami skysčiai-pakaitalai laboratorijos sąlygomis ne tik didina matavimų neapibrėžtį, bet ir yra tam tikro ženklų sistemingosios

1 lentelė. Darbinio matuoklio leidžiamosios paklaidos, kai tikrinama skysčiu-pakaitalu

Darbinis matuojamasis skystis		Paklaidų nustatymas naudojant skystį-pakaitalą %		
Dinaminė klampa	Temperatūros intervalas °C	Benzinas arba vanduo	Žibalas	Dyzelinis kuras (apie 6 mPa · s)
Suskystintos dujos	- 10 – + 50	+ 0,3 – + 0,9	Nustatoma pateikiant eksploatuoti	
Skystis 0,3–17 mPa · s	- 10 – + 50	- 0,4 – + 0,2	- 0,3 – + 0,3	- 0,2 – + 0,4
Skystieji maisto produktai		- 0,5 – + 0,1	Neleidžiama	Neleidžiama

Pastaba. Darbinio skysčio klampai esant nuo 17 iki 1 000 mPa · s leidžiama naudoti tik žibalą ir dyzelinį kurą. Nustatomos paklaidos pateikiamos [5].

neapibrėžties šaltinis. Todėl rekomenduojama, atsižvelgus į darbinio skysčio ir etaloniniuose įrenginiuose naudojamo skysčio pakaitalo klampų santykį, keisti leidžiamąsias paklaidų ribas. Šios rekomendacijos paliečia labai plačiai praktikoje vartojamus skysčius – skystąjį kurą ir maistinius skysčius.

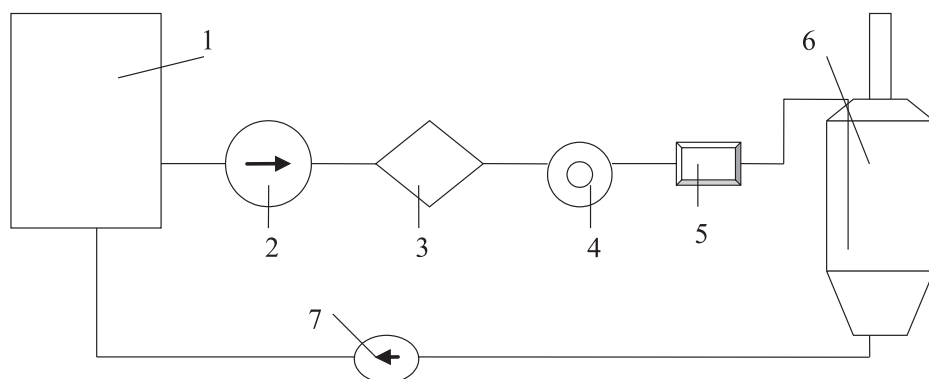
Naftos produktų skaitiklių gamintojai paprastai pateikia perskaičiavimo formules, tačiau dėl daugelio priežasčių jos reikalauja patikslinimų ir realių veiksnių įvertinimo.

3. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI

Ekperimentai atlikti valstybės etalono įrenginyje [1] ir naftos produktų išpilstymo terminaluose taikant 2 pav. parodytą principinę įrangos schemą. Tyrimai laboratorijoje buvo atliekami naudojant skystį Exxsol D80, kuris yra artimas žibalui. Esant 20°C temperatūrai, šio skysčio tankis $\rho = 794,4 \text{ kg/m}^3$ ir dinaminė klampa $\mu = 1,693 \text{ mPa} \cdot \text{s}$. Kadangi laboratorijos sąlygomis nėra galimybių atlikti matavimus su skirtingais naftos produktais, tyrimus teko vykdyti Lietuvos naftos produktų terminaluose.

Matavimams terminaluose buvo naudojamas etaloninis 5 m³ talpos saikiklis, kurio tūrio matavimo neapibrėžtis sudarė $\pm 0,05\%$, rekonstruotas taip, kad jį būtų galima pervežti į matavimo vietą; laboratorijoje buvo naudojamas dar 2 m³ talpos saikiklis, kurio tūrio matavimo neapibrėžtis sudarė $\pm 0,035\%$. Pildant saikiklius, visuomet buvo išlaikoma sąlyga, kad pradinės ir galutinės saikiklio pildymo stadijų įtaka nesudarytų neapibrėžties, didesnės nei $\pm 0,03\%$ [1]. Ekperimentinių rezultatų palyginimui skaitiklis buvo papildomai ištirtas Olandijos nacionalinio matavimų instituto skysčių matavimo laboratorijoje naudojant analogiškus skysčius ir tūrinį matavimo metodą, kuris garantavo tūrio matavimo neapibrėžtį ne didesnę kaip $\pm 0,05\%$.

2 lentelėje pateiktos naudotų naftos produktų savybės. Kadangi Lietuvoje naftos produktai gaminami vienoje naftos perdirbimo gamykloje, abiejuose terminaluose jų savybės buvo tokios pat.



2 pav. Ekperimentinio tyrimo įrangos schema: 1 – kuro talpykla, 2 – siurblys, 3 – filtras, 4 – terminalo skaitiklis su temperatūros ir tankio matavimais, 5 – tiriamasis kamerinis skaitiklis, 6 – etaloninis saikiklis, 7 – dreninis siurblys

2 lentelė. Naftos produktų savybės

Savybės: LEI / NMI	Dyzelinis kuras	Žibalas Exxsol D80	Aviacinis žibalas JET A-1	Benzinas A-95
Tankis $\rho \text{ kg/m}^3$	843,70 / 834,65	794,4	804,10 / 802,20	741,08 / 727,21
Dinaminė klampa $\mu \text{ mPa} \cdot \text{s}$	2,80 / 3,99	1,69	1,24 / 1,41	0,37 / 0,55
Kinematinė klampa $\nu \text{ mm}^2/\text{s}$	3,33 / 4,78	2,13	1,55 / 1,76	0,50 / 0,75

Pastaba. Lentelėje „LEI/NMI“ nurodo vietą, kur buvo matuojamas eksperimentinių skysčių klampa ir tankis. Norminė temperatūra 15°C. Pažymėtina, kad tos pačios rūšies kuro klampa ir tankis gerokai skiriasi. Tai nulemia kuro sudėtis ir netgi fizinių savybių įvertinimo metodika.

Ekperimentiniai tyrimai (3–5 pav.) rodo, kad kamerinio skaitiklio paklaida, kurią sąlygoja pertekėjimai per tarpus tarp korpuso ir darbo rato, smarkiai priklauso nuo naftos produktų klamos ir debito. Visais atvejais klampai mažėjant ir debitui didėjant, šie pertekėjimai didėja ir matuoklis registruoja vis mažesnius pertekančių naftos produktų kiekius.

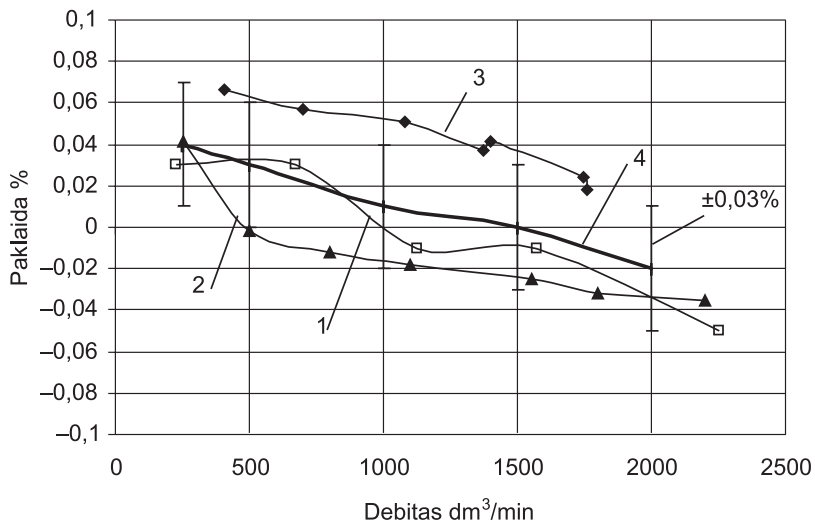
Matuojant klampų dyzelinį kurą (3 pav.) visi matavimo rezultatai rodo, kad paklaidų vidurkis (4 kreivė) beveik tiesiškai kinta tik nuo 0,04% iki – 0,02% debitų intervale 15–120 m³/h. Nuokrypis nuo vidurkio ne didesnis kaip $\pm 0,03\%$. Tai iš tikrųjų labai maža rezultatų sklaida, atsižvelgus į labai skirtingas ekperimentų sąlygas ir galimus aplinkos temperatūros bei naftos produktų sudėties ar pokyčių įtakas. Tai rodo, kad tam tikrose skysčio klamos kitimo ribose skaitiklio paklaidos artėja prie tam tikros asimptotinės vertės. Taip pat matyti, kad didėjant debitui didėja kamerinio skaitiklio nematuojami pertekėjimai, kuriuos iš esmės lemia didėjantys slėgio nuostoliai skaitiklyje dėl didėjančio debito ir skaitiklio apsukų.

Mažėjant naftos produktų klampai, pertekėjimai per tarpus auga. Taip pat ženkliai padidėja jų priklausomybė nuo debito (4 ir 5 pav.).

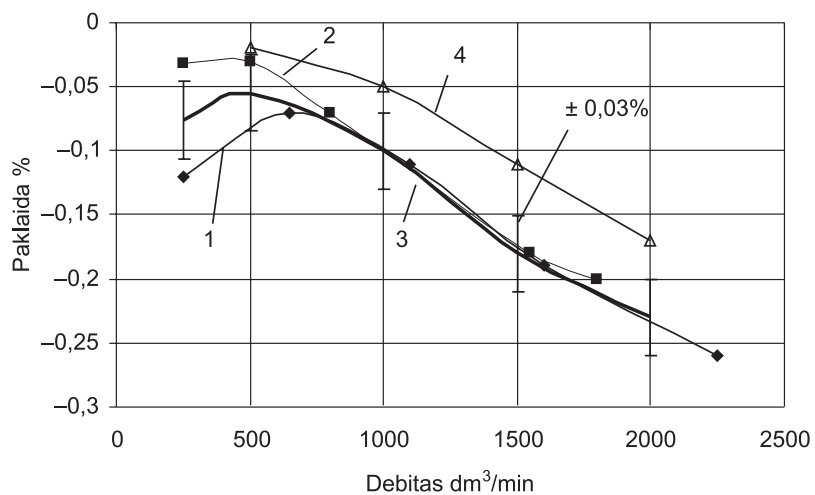
Esant debitams per 30 m³/h ir jiems toliau didėjant, kamerinio matuoklio nematuojami pratekėjimai didėja ir matuoklio paklaidos pasislenka link neigiamų reikšmių. Ypač dideli pokyčiai pastebimi esant debitams, mažesniems nei 30 m³/h. Šioje srityje esant mažai naftos produktų klampai kamerinio skaitiklio paklaidos staigiai slenka link neigiamų verčių. Tai greičiausiai lemia mažėjantis inercijos ir pasipriešinimo jėgų santykis, kuris padidina slėgio skaitiklyje nuostolius.

4 pav. pateikti matavimo rezultatai naudojant Exxsol D80 žibalą laboratoriniame įrenginyje. Kaip reikėjo laukti, dėl didesnės šio skysčio klamos kamerinio skaitiklio paklaidos sumažėja, palyginti su paklaidomis aviacinio žibalo sraute.

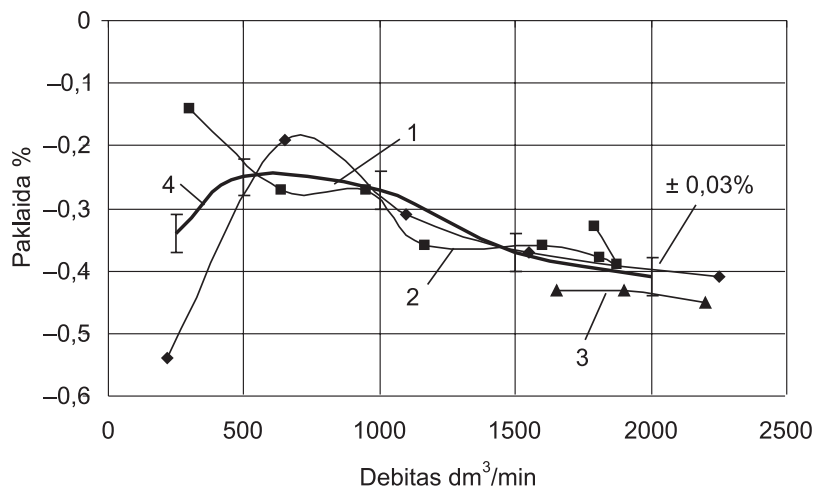
Kadangi visų matavimo rezultatų nuokrypiai nuo vidurkio nėra didesni kaip $\pm 0,03\%$, todėl kamerinio tipo skaitikliui



3 pav. Kamerinio skaitiklio tikslumas matuojant dyzelinį kurą: 1 – matavimų NMI (Olandija) laboratorijoje rezultatai, 2, 3 – matavimai atitinkamai 1- ir 2-ajame kuro išpilstymo terminaluose, 4 – matavimų vidurkis



4 pav. Kamerinio skaitiklio tikslumas matuojant aviacinį kurą (žibalą): 1 – matavimų NMI (Olandija) laboratorijoje rezultatai, 2 – matavimai 1-ajame kuro išpilstymo terminaluose, 3 – matavimų vidurkis, 4 – matavimas naudojant Exxsol D80



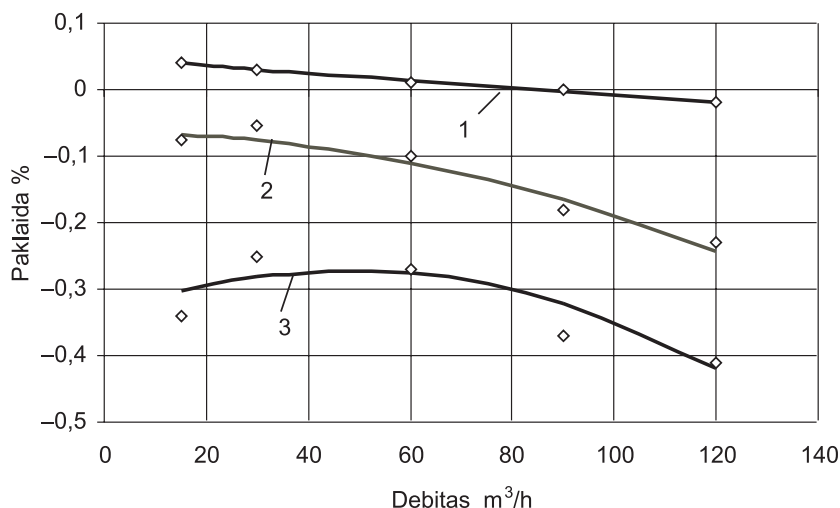
5 pav. Kamerinio skaitiklio paklaidų kreivė matuojant benzina A-95: 1 – matavimų NMI (Olandija) laboratorijoje rezultatai, 2, 3 – matavimai atitinkamai 1- ir 2-ajame kuro išpilstymo terminaluose, 4 – matavimų vidurkis

galima nustatyti jo paklaidos priklausomybę nuo matuojamojo skysčio klampos ir debito. Praktikoje kamerinio tipo skaitikliai paprastai naudojami tam tikrame debito intervale, esant nustatytai apatinei debito matavimo ribai. Todėl šiame intervale praktiniams tikslams galima gauti gana tikslų apibendrinimą. Toks apibendrinimas svarbus sekant etaloninių ir darbinių naftos produktų matuoklių metrologines charakteristikas ir jų dėvėjimosi įtakas bei įvertinant skysčio pertekėjimus pro tarpus tarp matuoklio korpuso ir darbo rato.

Kadangi nėra galimybių tiksliai įvertinti pertekėjimo tarpų geometriją ir matmenis bei tam tikrus fizinių savybių skirtumus, apibendrinimas buvo atliekamas formule, artima pagal struktūrą (4) formulei:

$$\delta = \frac{1}{\mu} (A + B \cdot q + C \cdot q^2); \quad (5)$$

čia A , B ir C – koeficientai, būdingi kameriniam skaitikliui; q – debitas m^3/h ; μ – skysčio dinaminė klampa.



6 pav. Eksperimentinių rezultatų apibendrinimas (5) formule: 1 – dizelinas; 2 – žibalas; 3 – benzinas

Buvo priimama, kad matuoklio darbo rato apšukos proporcingos pertekancio skysčio debitui.

Taikant mažiausių kvadratų metodą, eksperimentai buvo apibendrinti esant vidutiniam standartiniam nuokrypiui $\pm 0,02\%$ ir tokioms koeficientų A, B ir C reikšmėms:

$$A = 0,1099\mu - 0,2433; \quad (6)$$

$$B = (0,2814\mu^2 - 2,4348\mu + 2,7182) \cdot 10^{-3}; \quad (7)$$

$$C = (0,2373\mu^2 - 0,5613\mu - 1,3060) \cdot 10^{-5}; \quad (8)$$

Apibendrinimo rezultatai parodyti 6 pav.

Kaip matyti iš pateikto apibendrinimo, bendrieji teorinės analizės principai pasitvirtina. Nors dėl skaitiklio formos, tekėjimo priklausomybės nuo skysčio fizinių savybių ir apšukų apibendrinimai turi sudėtingą formą, vis dėlto jie turi didelę praktinę reikšmę įvertinant etaloninių ir darbinų naftos produktų skaitiklių metrologines charakteristikas ir galimus jų pokyčius.

4. PRAKTINIAI SPRENDINIAI

Pateikti tyrimo rezultatai rodo, kad didelių naftos produktų debitų matavimų tikslumas glaudžiai siejasi su jų fizinėmis savybėmis, debito reikšmėmis ir matuoklio tipu. Kadangi patikimiausia praktine matavimo priemone laikomi kameriniai skaitikliai, tačiau jų kalibravimas gali būti atliekamas su analogiško tipo darbiniais etalonais tik tuomet, kai jų metrologinės charakteristikos priklausomybė nuo klamos yra tinkamai ištirta ir nustatyta bei nuolat sekama, siekiant garantuotos matavimų sieties.

Apskritai tai liečia visų skysčių matavimus. Todėl jau dabar tikslinga nagrinėti kitų metodų taikymą skysčių tūrio ir debito reikšmėms perduoti darbinėms matavimo priemonėms. Dažniausiai iki šiol buvo taikomi 2 metodai:

- svėrimo metodas, ypač didelės klamos skysčiams, kurių dinaminė klampa $\mu > 20 \text{ mPa} \cdot \text{s}$;
- tūrinis metodas, realizuojamas įvairaus tipo stacionariais ir mobiliais įrenginiais, kuriuose įrengti etaloniniai saikikliai arba įranga – cilindras-stūmoklis (rutuly).

Tačiau šie įrenginiai yra gana brangūs, didelių gabaritų, reikalauja, jei yra mobilūs, specialiai pritaikytų transporto priemonių ir sudėtingo aptarnavimo. Nepaisant šių požymių, minėti metodai yra tiksliausi ir sudaro pamatinių etalonų tūrio ir debito reikšmėms atkurti pagrindą.

Šiuo metu vis plačiau naudojami masės (Koriolio) matuokliai, kurie kartu matuoja ir skysčio tankį. Tokius matuoklius galima patikimai kalibruoti vandens sraute arba kito skysčio etaloniniame įrenginyje ir toliau naudoti kilnojamoju etalonu. Ištyrus jo charakteristikų stabilumą, masės matuoklio panaudojimas leistų efektyviai spręsti praktinius skirtingos klamos skysčių matavimo uždavinius.

5. IŠVADOS

1. Skysčių klamos pokyčiai turi didelę įtaką kamerinių matuoklių matavimo paklaidoms. Matavimo tikslumui užtikrinti būtina eksperimentiškai nustatyti kamerinio matuoklio perskaiciavimo dėsningumą, atsižvelgus į skysčio klamos kitimo diapazoną. Ypač tai svarbu atlikti naftos produktams dėl didelės jų klamos priklausomybės nuo produktų rūšies ir jų temperatūros bei privalomojo reikalavimo skaitiklio tikslumui $\leq \pm 0,30\%$.

2. Eksperimentiniais tyrimais 4 skirtingų skysčių srautuose nustatyta ir apibendrinta kamerinių skaitiklio paklaidų priklausomybė nuo skysčio klamos ir debito.

3. Siekiant garantuoti tikslių skysčių apskaitą, tikslinga atlikti matuoklių kalibravimus darbinėmis sąlygomis jų įrengimo vietoje, pasirinkus tinkamą kilnojamojį etaloną, kuris teiktų reikšmes, nepaisant skysčio klamos. Be įprastinių tūrio etalonų-saikiklių masės debito matuokliai gali būti tinkamais kilnojamaiais etalonais, prieš tai detaliam ištyrus jų metrologinių charakteristikų stabilumą.

Gauta 2008 08 07

Priimta 2008 10 20

Literatūra

1. Pedišius N., Bončkus A. Skystojo kuro srautų matavimo ir sieties užtikrinimo tyrimas // Energetika. 2008. T. 54. Nr. 1. P. 40–46.
2. Loicianskij L. G. Skysčių ir dujų mechanika. Maskva: Nauka, 1987. P. 840.
3. Kremlevskij P. P. Debitmačiai ir kiekio skaitikliai. Leningradas: Mašinostrojenije, 1978. P. 775.
4. Stacionarus pieno matavimo įrenginys CMZ 65–11. Patikros metodika. Koncernovy podnik Chirana. Stara Tura, 1990. P. 6.
5. Kalibravimo instrukcija 5 (EA-5). Bendrosios tekančių skysčių, išskyrus vandenį, matavimo prietaisų kalibravimo taisyklės. 1989 m. leidinys su 1990 m. pakeitimais. PTB, Vokietija, 1991. P. 27.
6. OIML DR 117-1:9 February 2007. Skysčių, išskyrus vandenį, matavimo sistemos – 1 dalis: Metrologiniai ir techniniai reikalavimai. P. 22–25.

Nerijus Pedišius, Gediminas Zygmantas, Andrius Bončkus

THE INFLUENCE OF FLOWING FLUID VISCOSITY ON VOLUME AND FLOW RATE MEASUREMENTS

Summary

The viscosity of various liquids used in practice strongly depends on the type of the liquid and its temperature. It changes the accuracy of volume and flow rate measurements by positive displacement meters that are widely used for liquid fuel measurements and are usually installed on trucks or in liquid fuel refilling terminals. Because of the ungovernable increase of liquid fuel consumption and price, caretaking of the measurement accuracy becomes urgently important.

Analysis of the experimental investigation of diesel, kerosene and petrol volume measurements with positive displacement meters in places of installation and a comparison with results obtained in the refer-

ence conditions are presented. They show a good correlation among the measurement results and the possibility to summarize them by using some theoretical provisions. Determination of such dependences may be useful for supervising the operation of reference and working meters.

Key words: liquid fluid, flow measurement, volume, flow rate, viscosity, measurement accuracy

Нерийус Пядишюс, Гедиминас Зигмантас, Андрюс Бончкус

ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ ТЕКУЩИХ ЖИДКОСТЕЙ НА ИЗМЕРЕНИЕ ИХ ОБЪЕМА И РАСХОДА

Резюме

Вязкость жидкостей, применяемых в практических целях, сильно зависит от рода жидкости и ее температуры. Она влияет на точность измерений их объема и расхода. Для измерения жидкого топлива и других жидкостей обычно широко используются камерные счетчики, которые устанавливаются на транспортных средствах или терминалах, соответственно для перевозки и отгрузки таких жидкостей. В связи с возрастающим потреблением жидкого топлива и с ростом его цены потребность в точности измерений становится особенно актуальной.

Осуществлен анализ экспериментальных измерений расхода дизельного топлива, керосина и бензина камерными счетчиками в местах их эксплуатации в сравнении с результатами, полученными в лабораторных условиях. Показана хорошая корреляция данных измерений и возможность их обобщения на основе теоретических предпосылок. Выявленная зависимость может быть применена для оценки метрологических характеристик ее эталонных и рабочих счетчиков, а также для учета влияния вязкости при измерении камерными счетчиками расхода нефтепродуктов. Отмечена роль передвижных эталонов при обеспечении точности измерений в эксплуатационных условиях.

Ключевые слова: жидкое топливо, измерение потока, объем, расход, вязкость, точность измерений