

ZAMONAVIY GAZ SARFI O'LGHASH VOSITALARINI METROLOGIK TEKSHIRUV LABORATORIYASINI TASHKIL ETISHDA XALQARO TAJRIBA

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19044552>

**Bekmurotov Chori Abdullayevich.¹,
Inagamdjanov Doniyor Tuxtamuratovich ²**

¹) Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, "Metrologiya, texnik jihatdan tartibga solish, standartlashtirish va sertifikatalatlatirish" kafedrası dotsenti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD).

²) "O'zbekiston milliy metrologiya instituti" Davlat muassasasi, Bosh mutaxassisi, mustaqil izlanuvchi.

Annotatsiya

Tabiiy gaz sarfini ishchi sharoitlarda aniq o'lchashni ta'minlovchi yangi turdagi poverka uskunalarini joriy etishning o'ziga xos jihatlari va texnik imkoniyatlari bayon etilgan. O'lchashlarga oid vazifalar, texnologik jarayonlar hamda metrologiya markazi loyihalarini amalga oshirishning uch bosqichi natijalari ko'rib chiqilgan. Yuqori aniqlik va ishonchlilik ko'rsatkichlarini ta'minlash maqsadida amaldagi gaz quvurida joylashtirilgan texnologik qismning tuzilmaviy sxemalari va zamonaviy uskunalar ishi tahlil qilingan. Metrologiya markazi doirasida qiyoslashning yangi texnologik bosqichlari va vositalarini yaratish O'zbekistonda o'lchashlar birligini ta'minlash strategiyasini amalga oshirishda muhim qadamlardan biri ekani ko'rsatadi.

Kalit so'zlar

gaz sarfi, yuqori bosimli gaz, kattalik birligini uzatish sxemasi, etalon.

Аннотация

В статье изложены особенности и технические возможности внедрения нового типа поверочного оборудования, обеспечивающего точное измерение расхода природного газа в рабочих условиях. Рассмотрены задачи, связанные с измерениями, технологические процессы, а также результаты реализации проектов метрологического центра на трех этапах. С целью обеспечения высоких показателей точности и надежности проведён анализ структурных схем технологической части, размещённой на действующем газопроводе, и работы современного оборудования. Создание новых технологических этапов

и средств поверки в рамках метрологического центра рассматривается как один из важных шагов в реализации стратегии обеспечения единства измерений в Республике Узбекистан.

Ключевые слова

расход газа, газ высокого давления, схема передачи единицы величины, эталон.

Abstract

The paper describes the specific features and technical capabilities of implementing a new type of calibration equipment that ensures accurate measurement of natural gas flow under operating conditions. Measurement-related tasks, technological processes, as well as the results of implementing metrology center projects through three stages are reviewed. In order to ensure high accuracy and reliability, the structural diagrams of the technological section installed on an operating gas pipeline and the performance of modern equipment are analyzed. The development of new technological stages and calibration tools within the framework of the metrology center is identified as one of the key steps in implementing the strategy for ensuring measurement traceability in the Republic of Uzbekistan.

Keywords

gas flow rate, high-pressure gas, quantity unit transfer scheme, reference standard.

Energiyani tejash va o'lchashlar birligini ta'minlash sohasida davlat miqyosida belgilangan vazifalar gaz sanoatida o'z amaliy ifodasini topmoqda. Ushbu vazifalardan biri – gaz sarfini o'lchash aniqligini oshirish bo'lib, bu samarali gaz sarfini o'lchash tizimlrini yaratish, shuningdek, ularni qiyoslash va kalibrovka qilish uchun magistral gaz quvurlarida o'rnatilgan kompressor stansiyalari bazasida diametri 400 mm va undan yuqori bo'lgan zamonaviy gaz sarfi o'lchash vositalarini metrologik tekshiruv laboratoriyasini tashkil etish orqali amalga oshiriladi.

Shuningdek, laboratoriyani yordamida turli o'lchash usullariga asoslangan gaz sarfi va miqdorini o'lchash vositalarini tekshirish (kalibrovka qilish), gaz sarfi va miqdorini o'lchash vositalarini taqqoslama sinovdan o'tkazish, gaz sarfi etalonlarini jahonning yetakchi metrologiya institutlari bilan o'zaro solishtirish ishlarini amalga oshirish, ilmiy va eksperimental tadqiqotlar olib borish, tabiiy gaz sarfi o'lchash birligini saqlash va uzatish imkoniyatlarini yaratadi.

Xalqaro amaliyotga ko'ra, AQSh va Yevropa mamlakatlariga tabiiy gaz eksporti amalga oshirilganda import qiluvchi tomonlar milliy metrologiya institutlari (NMI) tomonidan tan olingan yuqori bosimli tabiiy gaz sarfi birliklariga izchillik (traceability) mavjud bo'lishini talab qiladi. Ushbu talablarning bajarilmasligi eksport jarayonida tashqi laboratoriyalarga murojaat qilish zaruratini yuzaga keltiradi va bu esa texnik hamda iqtisodiy jihatdan qo'shimcha qaramlikni keltirib chiqaradi. Ta'kidlash joizki, hozirgi kunda AQSh, Kanada, Germaniya, Daniya, Niderlandiya, Fransiya, Koreya va Xitoy davlatlari Xalqaro og'irliklar va o'lchashlar byurosi (BIPM) ma'lumotlar bazasida yuqori bosimli tabiiy gaz sarfini o'lchash bo'yicha kalibrlash va o'lchash imkoniyatlariga ega sifatida ro'yxatdan o'tgan.

Yuqori bosimli gaz sarfi uchun davlat birlamchi etalonini (keyingi o'rinda – sarf etaloni) yaratish O'zbekiston Respublikasida ichki va tashqi gaz bozorlari ehtiyojlarini metrologik jihatdan ta'minlash, mamlakatning energetik xavfsizligini mustahkamlash hamda tabiiy gaz sarfini o'lchashning bir xilligini ta'minlash bo'yicha milliy metrologiya tizimining xalqaro maydondagi mavqeini oshirishga xizmat qiladi. Kelgusida xalqaro asosiy va mintaqaviy taqqoslashlarda ishtirok etish orqali O'zbekistonning yuqori bosimli tabiiy gazning hajmiy sarf tezligi sohasidagi kalibrlash va o'lchash imkoniyatlarini BIPM ma'lumotlar bazasida ro'yxatdan o'tkazish imkoniyati yaratiladi.

Loyihaning asosiy konsepsiyasi yuqori o'lchash aniqligi va keng sarf tezligi o'lchash chegaraga ega sarf etaloni yaratishdan iborat. Shu bilan birga, muhim vazifalardan biri nisbatan kichik qiymatlarni qayta ishlab chiqaruvchi birlamchi etalondan yuqori bosimli tabiiy gaz sarfi tezligi birligini kengroq dinamik o'lchash chegaraga ega ishchi etalonlar va amaliy o'lchash vositalariga uzatish jarayonini optimallashtirish hisoblanadi.

Ushbu yo'nalishdagi xalqaro tajriba tahlili shuni ko'rsatadiki, yuqori bosimli tabiiy gaz sarfi tezligi birliklarini uzatish sxemalari turli mamlakatlar va sinov markazlarida sezilarli darajada farqlanadi. Mazkur farqlar asosan qo'llaniladigan birlamchi va ishchi etalonlarning konstruktiv va metrologik xususiyatlariga bog'liq. Sarf etaloni yaratish loyihasini ishlab chiqishda Germaniya, Niderlandiya va Daniyada joriy etilgan texnik yechimlar alohida qiziqish uyg'otadi, chunki ushbu mamlakatlarda birlamchi milliy etalonlar harakatlanish prinsipi bo'yicha farqlanuvchi piston proverlarga asoslangan.

Ma'lumot uchun: Piston prover – bu sarf sarfini yuqori aniqlikda kalibrovka qilish va tekshirish uchun qo'llaniladigan etalon o'lchash qurilmasidir (asosan gaz va suyuqliklar uchun).

Yevropa mamlakatlarida metrologiya markazlari va milliy etalonlarning metrologik va texnik xususiyatlari

Germaniya, Niderlandiya va Daniyada yuqori bosimli tabiiy gaz sarfi birliklari uchun qo'llaniladigan asosiy standartlarning metrologik va texnik xususiyatlari 1-va 2-jadvallarda keltirilgan. Ushbu mamlakatlar Fransiya bilan birgalikda tabiiy gazning hajmiy birligini uyg'unlashtirishga qaratilgan EuReGa qo'shma loyihasida ishtirok etib kelmoqda.

1-jadval. Sarf etaloni o'lchash sohasidagi yetakchi Yevropa laboratoriyalarining tavsiflari

Nomlanishi	Germaniya	Niderlandiya	Daniya
Milliy metrologiya instituti (NMI)	PTB	VSL	Force
Laboratoriya	Pigsar	Euroloop	Force
Hajmiy sarf o'lchash chegarai, m ³ /h	3–6500 (22 000*)	20–30 000	5–32 000 (50 000*)
Bosim o'lchash chegarai, MPa	1,5–5,6 (6,5*)	0,8–6,3	0,1–6,6
Nisbiy kengaytirilgan noaniqlik, %	0,128–0,264	0,220–0,300	0,150–0,200
*Izoh: hozirgi kunda amalga oshirilayotgan modernizatsiya ishlari yakunlangandan so'ng			

2-jadval. Sarf etalon laboratoriyalarining asosiy parametrlari

Nomlanishi	Germaniya	Niderlandiya	Daniya
Laboratoriya	Pigsar	Euroloop	Force
Birlamchi etalonning bazaviy moduli	Yuqori bosimli porshenli pover (High-Pressure Piston Prover)	Gaz-moyli porshenli pover (Gas-Oil Piston Prover)	Faol porshenli pover (Active Piston Prover)
Hajmiy sarf o'lchash chegarai, m ³ /h	3–480	5–230	5–400
Bosim o'lchash chegarai, MPa	0,8–10,0	0,1–6,5	0,1–10,0
Kengaytirilgan noaniqlik, %	0,065	0,070–0,086	0,080

Germaniya, Niderlandiya va Daniyadagi gaz sarfi sinov markazlarida foydalaniladigan kalibrlash qurilmalarining ishlash tamoyillari turlicha bo'lishiga qaramay, ularning barchasi umumiy strukturaviy sxemaga ega. Mazkur sxema asosiy standart bloki, mos yozuvlar standartlari, parallel o'rnatilgan ishchi standartlar bo'limi (yoki bo'limlari) hamda kalibrlash liniyalaridan iborat. Rotorli

va/yoki turbinali sarf o'lchagichlari ishchi hamda mos yozuvlar standartlari sifatida keng qo'llaniladi.

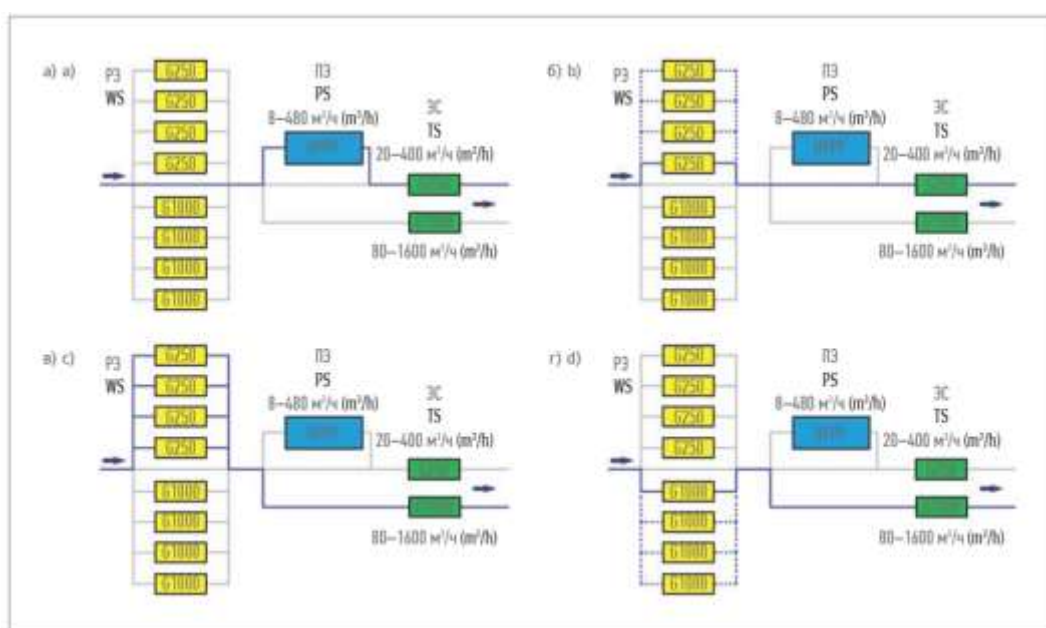
Taqqoslash etalonlari o'lchash birligini asosiy etalondan ishchi etalonlarga, shuningdek, turli sabablarga ko'ra bir-biri bilan bevosita taqqoslab bo'lmaydigan, sarf o'lchash chegaralari turlicha bo'lgan ishchi etalonlar o'rtasida uzatish uchun mo'ljallangan. Odatda, birinchi holatda o'tkazish etalonlari asosiy etalon sxemasiga, ikkinchi holatda esa sinov (kalibrlash) tarmog'iga o'rnatiladi.

Turli metrologiya institutlarida joriy etilgan yuqori bosimli tabiiy gaz sarfi tezligini uzatish sxemalarida ushbu jarayon, qoida tariqasida, maksimal sarf tezligi ($Q_{\max}$) nisbatan past bo'lgan parallel o'rnatilgan etalonlardan $Q_{\max}$ qiymati yuqori bo'lgan etalonlar yoki ishchi o'lchash vositalariga tomon amalga oshiriladi. O'tkazish zanjiri bo'ylab sarf tezligi o'lchash chegaraini bosqichma-bosqich kengaytirish maqsadida ko'pincha bosqichma-bosqich kengaytirish protsedurasi qo'llaniladi.

Pigsar laboratoriyasida amalga oshiriladigan tabiiy gaz sarfi birligini uzatish sxemasi

Amaldagi Pigsar sarf etalonida (Germaniya) taqqoslash etalonlari va ishchi etalonlar sifatida mos ravishda 20-400 m³/h va 80-1600 m³/h sarf o'lchash chegaralariga ega bo'lgan G250 va G1000 tipidagi turbinali gaz sarf o'lchagichlar qo'llaniladi.

Pigsar sarf etalonida kalibrlash jarayonining ketma-ketligi keltirilgan. Birinchi bosqichda turbinali G250 taqqoslash etaloni yuqori bosimli porshenli prover (High-



Pressure Piston Prover) (keyingi o'rinda - YBPP) yordamida kalibrlanadi (1a-rasm).

1-rasm. Pigsar laboratoriyasi etalonlarini kalibrovka qilish bosqichlari

a) I bosqich, b) II bosqich, v) III bosqich, g) IV bosqich, bunda WS – ishchi etalonlar; PS – birlamchi etalon; TS – taqqoslash etalonlari.

Ikkinchi bosqichda (1b-rasm) to'rtta G250 ishchi etaloni G250 taqqoslash etaloni yordamida kalibrlanadi. Bu jarayonda gaz sarfi porshenli proverni chetlab o'tadi, natijada taqqoslash etaloni avvalgi bosqichdagidek bir xil sarf sharoitlarida ishlaydi. Bu esa birlik uzatishda yuzaga kelishi mumkin bo'lgan qo'shimcha xatoliklarni minimallashtirish imkonini beradi.

Nazariy jihatdan, G250 ishchi etalonlarini bevosita YBPP orqali kalibrlash, ya'ni uzatish zanjiridan taqqoslash etalonini chiqarib tashlash va birlik uzatish bosqichlarini bir pog'onaga qisqartirish mumkin. Biroq, ushbu yondashuv o'lchash magistralida gazning siqiluvchanlik ta'siri o'lchash noaniqligiga sezilarli darajada ta'sir qilgani sababli rad etilgan. Mazkur noaniqlik kalibrlash paytidagi etalon gaz hajmining kalibrator bilan kalibrlanayotgan qurilma orasidagi "o'lik" hajmga nisbati, shuningdek, o'lchash boshidagi va oxiridagi harorat hamda bosim farqlariga bog'liq bo'ladi.

YBPP yordamida kalibrlashda porshenli proverning etalon hajmi atigi $0,15 \text{ m}^3$ ni tashkil etadi. Sarf etalonining konstruktiv xususiyatlari sababli G250 ishchi etalonlari bilan YBPP orasidagi "o'lik" hajm taxminan $3,00 \text{ m}^3$, YBPP bilan G250 taqqoslash etaloni orasidagi hajm esa $0,4 \text{ m}^3$ ga teng. 1b-rasmda keltirilgan uzatish sxemasida esa o'lchash vaqti birinchi bosqichdagiga nisbatan ancha uzoq (bir necha barobar) bo'lib, etalon hajm kamida $4,0 \text{ m}^3$ ni tashkil etadi. Shu sababli bu holatda "o'lik" hajmning ta'siri ahamiyatsiz hisoblanadi.

Uchinchi bosqichda yuqori sarf qiymatlariga erishish uchun maksimal sarfi $Q_{\max} = 1600 \text{ m}^3/\text{h}$ bo'lgan G1000 tipidagi taqqoslash etaloni qo'llaniladi. Ushbu etalon to'rtta parallel ulangan G250 ishchi etalonlari yordamida kalibrlanadi (1v-rasm).

Yakuniy, to'rtinchi bosqichda (1g-rasm) to'rtta G1000 ishchi etaloni navbatma-navbat G1000 taqqoslash etaloni orqali kalibrlanadi. Bunda taqqoslash etalonining joylashuvi va sarf sharoitlari oldingi bosqichdagiga imkon qadar yaqin bo'lgani sababli, uning joylashuvi bilan bog'liq qo'shimcha ta'sirlar juda kichik bo'lib, kengaytirilgan o'lchash noaniqligini hisoblashda e'tiborga olinmaydi.

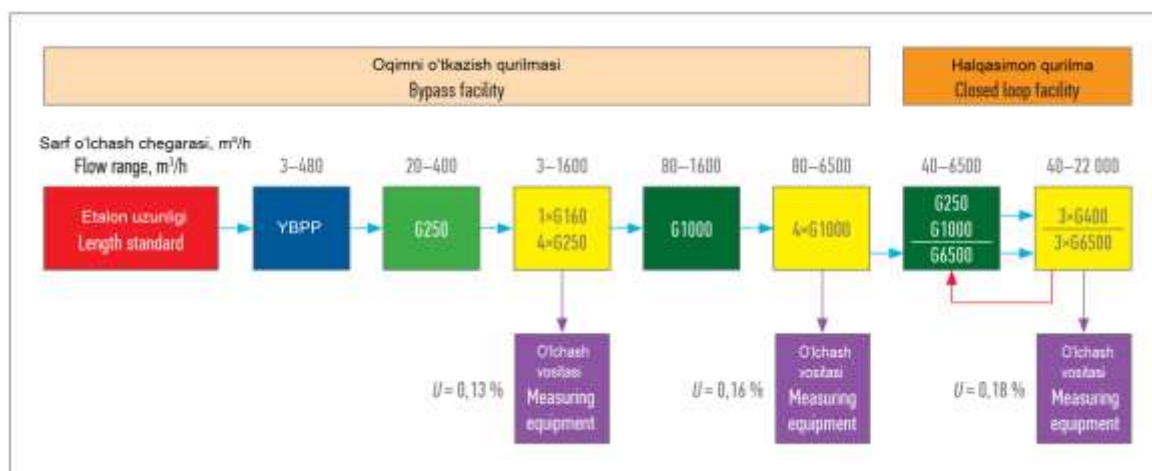
Hozirgi vaqtda Pigsar laboratoriyasida mavjud ochiq (baypasli) sarf etaloni yonida yopiq, halqali sinov konturiga ega yangi stend qurilmoqda. Ushbu stend kelajakda kalibrlash ishlarining unumdorligini oshirish hamda $0,8\div 6,5 \text{ MPa}$

bosimda 40 dan 22000 m³/h gacha bo'lgan sarf o'lchash chegaraida o'lchash vositalarini kalibrlash imkonini beradi.

Yangi stendda hozirgi YBPP asosidagi birlamchi etalonga nisbatan kengroq – 40÷1600 m³/h o'lchash chegarada birlikni qayta ishlab chiqarishga qodir bo'lgan yangi porshenli birlamchi etalon qo'llanilishi rejalashtirilgan. Ishchi etalonlar sifatida G400 va G6500 tipidagi uch tadan turbinali sarf o'lchagichlardan foydalanish ko'zda tutilgan bo'lib, ular birlikni G250, G1000 va G6500 taqqoslash etalonlaridan oladi.

Yangi sarf etalonining barcha ishchi etalonlari 1,7 MPa va 5,1 MPa absolyut bosimlarda kalibrlanadi. Oraliq bosim qiymatlarida ularning metrologik tavsiflari Reynolds soniga bog'liq holda interpolatsiya yo'li bilan aniqlanadi.

Yangi halqali stand nafaqat yuqori sarflarda, balki past va yuqori bosimlarda ham mavjud stendga metrologik jihatdan mos bo'lishi lozim. 6,5 MPa bosim uchun kalibrlash egri chizig'i 5,1 MPa dagi egri chiziqlardan Reynolds soni bo'yicha ekstrapolyatsiya qilish orqali aniqlanadi. Modernizatsiyadan so'ng PIGSAR laboratoriyasida amalga oshiriladigan yuqori bosimli tabiiy gaz sarfi birligini uzatishning umumiy sxemasi 2-rasmda keltirilgan. Birlik uzatishda xatolarning oldini olish maqsadida barcha taqqoslash etalonlari zaxiralangan bo'lib, ular bir xil tipdagi ketma- MPa dagi egri chiziqlardan Reynolds soni bo'yicha ekstrapolyatsiya qilish orqali aniqlanadi. Modernizatsiyadan so'ng PIGSAR laboratoriyasida amalga oshiriladigan yuqori bosimli tabiiy gaz sarfi birligini uzatishning umumiy sxemasi 2-rasmda keltirilgan. Birlik uzatishda xatolarning oldini olish maqsadida barcha taqqoslash etalonlari zaxiralangan bo'lib, ular bir xil tipdagi ketma-ket o'rnatilgan



ikkita etalon hisoblagichdan iborat.

2-rasm. Pigsar laboratoriyasida amalga oshiriladigan yuqori bosimli tabiiy gaz sarfi birligini uzatish sxemasi

Bunda, U – o'lchashlarning nisbiy kengaytirilgan noaniqligi, %. Gaz sarfi birligining birlamchi etaloni, uzunlik va vaqt birliklari etalonlariga ko'k rangda ko'rsatilgan, taqqoslash etalonlari - yashil rangda, ishchi etalonlar, sariq rangda aks ettirilgan.

Bundan tashqari, ishchi o'lchash vositalarining kalibrlash o'lchash chegaraining quyi chegarasini 3,00 m³/h gacha kamaytirish uchun protokli stendning G250 ishchi etalonlari bo'limiga YuBPPdan bevosita birlik oluvchi qo'shimcha G160 ishchi etaloni kiritilgan.

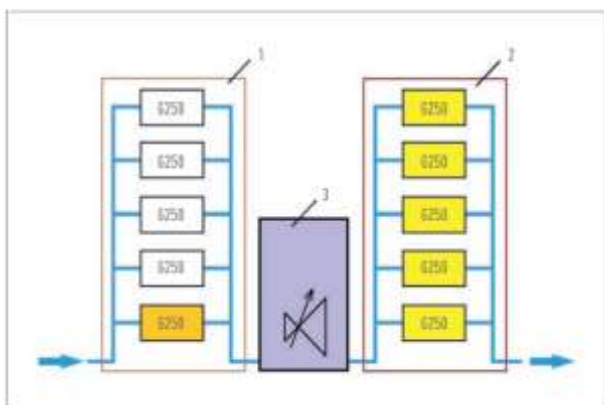
Halqali stendda G250 va G1000 taqqoslash etalonlari birlikni to'g'ridan-to'g'ri yangi birlamchi etalondan oladi va G400 ishchi etalonlarini kalibrlashda qo'llaniladi. Maksimal sarfi $Q_{\max} = 10\,000\text{ m}^3/\text{h}$ bo'lgan G6500 taqqoslash etaloni esa protokli stenddagi to'rtta G1000 ishchi etaloni (umumiy $Q_{\max} = 6500\text{ m}^3/\text{h}$) yordamida kalibrlanadi.

Shunga mos ravishda G6500 ishchi etalonlari ham dastlab 6500 m³/h gacha kalibrlanadi. Sarf o'lchash chegaraining yuqori chegarasini 10 000 m³/h gacha kengaytirish uchun bosqichma-bosqich kengaytirish usulidan foydalanish rejalashtirilgan. Bunda 6500 m³/h gacha kalibrlangan ikki G6500 ishchi etaloni yordamida birlik teskari yo'nalishda G6500 taqqoslash etaloniga uzatiladi va o'lchash chegara 10 000 m³/h gacha kengaytiriladi (2-rasmda qizil strelka bilan ko'rsatilgan). Shundan so'ng G6500 ishchi etalonlari ham kengaytirilgan sarf o'lchash chegaraida kalibrlanadi. Bosimning 5,1 MPa dan 6,5 MPa gacha oshirilishini hisobga olganda, har bir G6500 ishchi etalonining maksimal sarfi 7400 m³/h ni tashkil etadi, bu esa umumiy maksimal sarfni taxminan 22 000 m³/h ga yetkazadi.

Pigsar laboratoriyasida o'tkazilgan hisoblash tahlillari natijalari halqali stendda o'lchash vositalarini nisbiy kengaytirilgan noaniqlik $U \leq 0,18\%$ bilan kalibrlash mumkinligini tasdiqladi (2-rasm). Biroq, G6500 ishchi etalonlarining yuqori sarf o'lchash chegaraida (6500–10 000 m³/h) bosqichma-bosqich kengaytirish usulini qo'llash birlik uzatishda ikki qo'shimcha bosqichni keltirib chiqaradi va natijada ruxsat etilgan noaniqlik qiymatidan oshishga olib keladi. Shu sababli mazkur usuldan voz kechish va uzatish bosqichlari sonini kamaytirish maqsadida muqobil yechim sifatida birlikni $Q_{\max}$ qiymatlaridan 15 % gacha oshgan holda uzatish varianti ko'rib chiqilmoqda. Amaldagi me'yoriy hujjatlarga ko'ra, sarf o'lchagichlardan qisqa muddatli ortiqcha yuklama sharoitida foydalanishga ruxsat etiladi.

EUROLOOP laboratoriyasida amalga oshirilgantabiyy gaz sarfi birligini uzatish sxemasi

Euroloop laboratoriyasida (Niderlandiya) tabiiy gaz sarfi birligini uzatish sxemasida **birlamchi etalon** sifatida maksimal sarfi $Q_{\max} = 230 \text{ m}^3/\text{h}$ bo'lgan **gaz-moyli porshenli prover (Gas-Oil Piston Prover)** (keyingi o'rinda - **GMPP**) qo'llaniladi. Bunda o'lchash birligi GMPP dan **G250** ($Q_{\max} = 400 \text{ m}^3/\text{h}$) tipidagi taqqoslash etaloniga uzatiladi. Taqqoslash etaloni sifatida **IRPP** turidagi **rotatsion hisoblagich** ishlatiladi.



3-rasm. TraSys tizimining prinsipial sxemasi

1-birinchi o'lchash skidi; 2-ikkinchi o'lchash skidi; 3- gaz bosim reduktori va qizdirish skidi.

Sarflar o'lchash chegaraini kengaytirish va ishchi etalonlar hamda o'lchash vositalariga birlik uzatishni ta'minlash maqsadida Euroloop laboratoriyasida 2000-yillarning boshidayoq **TraSys (Traceability System)** tizimi ishlab chiqilgan. Ushbu tizim har birida **G250** tipidagi **IRPP** turkumiga mansub besh tadan bir xil etalon hisoblagichlar parallel joylashtirilgan **ikki o'lchash skididan**, shuningdek, bosimni pasaytiruvchi reduktor va gazni qizdirish uchun mo'ljallangan issiqlik almashinish qurilmasiga ega bo'lgan skiddan iborat (3-rasm).

Ma'lumot uchun: Traceability System – bu o'lchash natijalarini xalqaro yoki milliy etalonlar bilan uzluksiz va hujjatlashtirilgan zanjir orqali bog'lashni ta'minlovchi metrologik tizimdir.

IRPP tipidagi beshta hisoblagichdan tashkil topgan o'lchash skidi **4-rasmda** keltirilgan. Bir nechta hisoblagichlar parallel ishlaganda gaz rezonansi yuzaga kelishining oldini olish maqsadida ularning kirish quvurlari turli uzunlikda, ya'ni shaxmat tartibida bajarilgan.



4-rasm. Euroloop gaz majmuasining etalon seksiyasi o'lchash skidi

G250 hisoblagichlarining $Q_{\max}$ qiymati GMPP ning maksimal sarfidan deyarli ikki baravar yuqori bo'lgani sababli, TraSys tizimida sarf birligini uzatishda **bosqichma-bosqich kengaytirish** usuli qo'llaniladi. GMPP ning o'z sarf o'lchash chegaraida ($5 \div 230 \text{ m}^3/\text{h}$) faqat **bitta G250 hisoblagichi** (3-rasmda to'q sariq rang bilan ko'rsatilgan) kalibrlanadi va u birinchi o'lchash skidida joylashgan bo'ladi. TraSys tizimini qo'llashning birinchi bosqichida ushbu etalon hisoblagichdan **ikkinchi skidda joylashgan barcha G250 hisoblagichlari** navbatma-navbat $230 \text{ m}^3/\text{h}$ gacha va maksimal **6,5 MPa** bosimda kalibrlanadi (bu bosqichda bosim reduktori ishlatilmaydi).

Ikkinchi bosqichda ikkinchi skidning **ikki yoki undan ortiq bir vaqtning o'zida ulangan G250 hisoblagichlari kombinatsiyasi** orqali birinchi skiddagi barcha hisoblagichlar ketma-ket kalibrlanadi va maksimal sarf $400 \text{ m}^3/\text{h}$ gacha kengaytiriladi.

Uchinchi bosqichda esa birinchi skidning bir nechta hisoblagichlari yordamida ikkinchi skiddagi barcha hisoblagichlar $400 \text{ m}^3/\text{h}$ gacha kalibrlanadi.

Bosim reduktori G250 hisoblagichlarini GMPP orqali amalga oshirilgan dastlabki kalibrlash bosimlaridan farqli bosimlarda kalibrlash zarur bo'lganda qo'llaniladi. Bunda reduktor yordamida ikkinchi skid oldidagi bosim pasaytiriladi va yuqorida tavsiflangan algoritm asosida barcha hisoblagichlar navbatma-navbat kalibrlanadi. Bu jarayonda birinchi va ikkinchi skidlarda bosimlar turlicha bo'lgani holda **massaviy sarf doimiy, biroq hajmiy sarf va gazning siqiluvchanlik koeffitsienti farqli** bo'lishi hisobga olinadi.

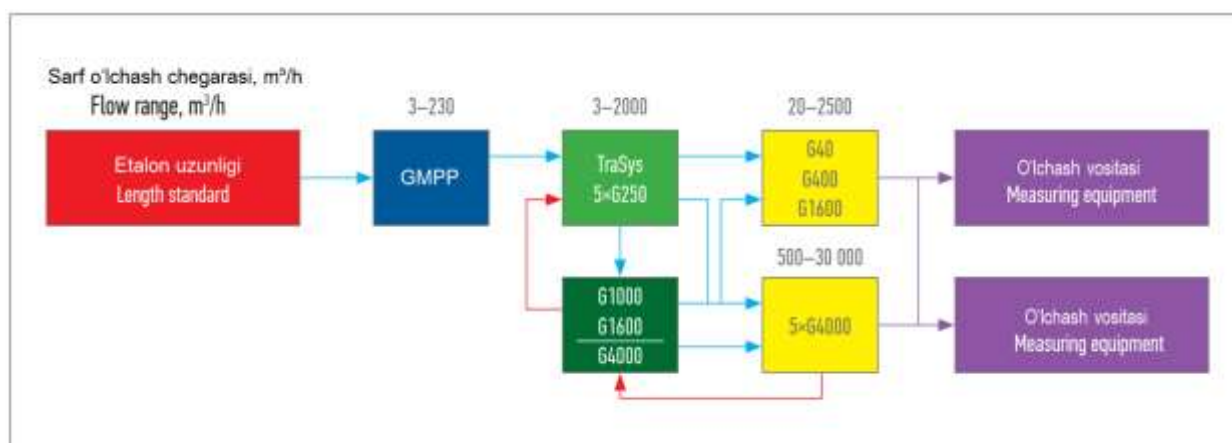
Bosim reduktoridan so'ng quvvati **850 kVt** bo'lgan gaz qizdirgichi o'rnatilgan bo'lib, u gaz kengayishi natijasida yuzaga keladigan harorat pasayishini kompensatsiya qiladi.

Natijada barcha **G250 etalon hisoblagichlari kalibrlangandan so'ng**, har bir o'lchash skidi **$2000 \text{ m}^3/\text{hgacha}$** bo'lgan sarf unumdorligiga ega bo'ladi. TraSys tizimining asosiy ustunligi shundaki, o'lchash birligini uzatish **bosqichma-bosqich bir o'lchash skididan ikkinchisiga** amalga oshiriladi, shuningdek, **ikki bir xil o'lchash skidining mavjudligi optimal zaxiralashni ta'minlaydi**.

Barcha **10 ta G250 hisoblagichi** muayyan sharoitlarda kalibrlangach, ushbu ikki skidni parallel ulash orqali $0,1 \div 9,0 \text{ MPa}$ bosim o'lchash chegaraida **4000 m³/hgacha** bo'lgan maksimal sarfga erishish mumkin.

TraSys tizimi **mobil** bo'lib, o'lchash skidlarini mos flansli ulanishlarga ega istalgan ob'yektga tashish va o'rnatish mumkin. U Euroloop sarf etalonining ishchi etalonlarini (turbinali sarf o'lchagichlarni), shuningdek, mamlakat ichida va undan tashqarida joylashgan turli sinov qurilmalariga birlik uzatish uchun mo'ljallangan **mobil o'lchash skidlarini kalibrlashda** qo'llaniladi. Masalan, **10 ta parallel ulangan G250 tipidagi IRPP hisoblagichlaridan iborat** shunday skidlaridan biri dunyodagi eng yirik yuqori bosimli tabiiy gaz sinov majmualaridan biri bo'lgan **TransCanada Calibrations (Kanada)** laboratoriyasida ishchi etalonlarga birlik uzatishda foydalanilmoqda.

Hozirgi vaqtda TraSys tizimi **qisman modernizatsiya qilingan**. Uzatish bosqichlari sonini kamaytirish maqsadida GMPP birlamchi etalonidan birlik endilikda **bitta emas, balki beshta G250 hisoblagichidan ikki yoki undan ortig'iga bir vaqtning o'zida** uzatiladi. Ikkinchi o'lchash skidi o'rniga esa **G1000 ($Q_{\max} = 1600 \text{ m}^3/\text{h}$), G1600 ($Q_{\max} = 2500 \text{ m}^3/\text{h}$) va G4000 ($Q_{\max} = 6500 \text{ m}^3/\text{h}$) tipidagi turbinali sarf o'lchagichlar ko'rinishidagi taqqoslash etalonlaridan foydalanish mumkin. Euroloop laboratoriyasida amalga oshirilgan **yuqori bosimli tabiiy gaz sarfi birligini uzatishning umumiy sxemasi 5-rasmda** keltirilgan. GMPP dan **230 m³/hgacha** birlik olgan TraSys tizimidagi **ikki G250 hisoblagichidan** taqqoslash**



etalonlari **G1000, G1600 va G4000 400 m³/hgacha** kalibrlanadi. Shundan so'ng ushbu etalonlardan birlik **barcha G250 o'lchash skididagi hisoblagichlarga** bosqichma-bosqich (bosqichma-bosqich kengaytirish usuli bilan) uzatiladi.

5-rasm. Euroloop laboratoriyasida amalga oshirilgan yuqori bosimli tabiiy gaz sarfi birligini uzatish sxemasi

5-rasm. Force Technology kompaniyasining yuqori bosimli tabiiy gaz sarfi birligini uzatish sxemasi

Shu bilan birga, **G250 taqqoslash etalonidan** sarf o'lchash chegaraining quyi qismida **G650 taqqoslash etaloni** ham kalibrlanadi (mazkur yo'nalish sxemada ko'rsatilmagan).

To'rtta G2500 ishchi etalonini ularning sarf o'lchash chegaraining yuqori chegarasigacha ($Q_{\max} = 4000 \text{ m}^3/\text{h}$) kalibrlash uchun **ikki bosqichli bosqichma-bosqich kengaytirish** jarayoni qo'llaniladi. Ushbu jarayonda **G650 va G2500 taqqoslash etalonlari** ishlatiladi (sxemada yashil rang bilan belgilangan):

1. Avval **G2500 ishchi etalonlari guruhi** yordamida **G650 taqqoslash etaloni** uning $Q_{\max} = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$ qiymatigacha kalibrlanadi. So'ng undan birlik kengaytirilgan qiymatda har bir G2500 ishchi etaloniga ketma-ket qaytariladi va shu bilan birga **G650 ishchi etaloniga** ham uzatiladi.

2. Keyingi bosqichda **to'rtta G2500 ishchi etaloni** yordamida **G2500 taqqoslash etaloni** uning $Q_{\max} = 4000 \text{ m}^3/\text{h}$ qiymatigacha kalibrlanadi. Shundan so'ng birlik ushbu taqqoslash etalonidan barcha G2500 ishchi etalonlariga uzatiladi. Bosqichma-bosqich kengaytirish jarayonlari **6-rasmda qizil strelkalar bilan** ko'rsatilgan.

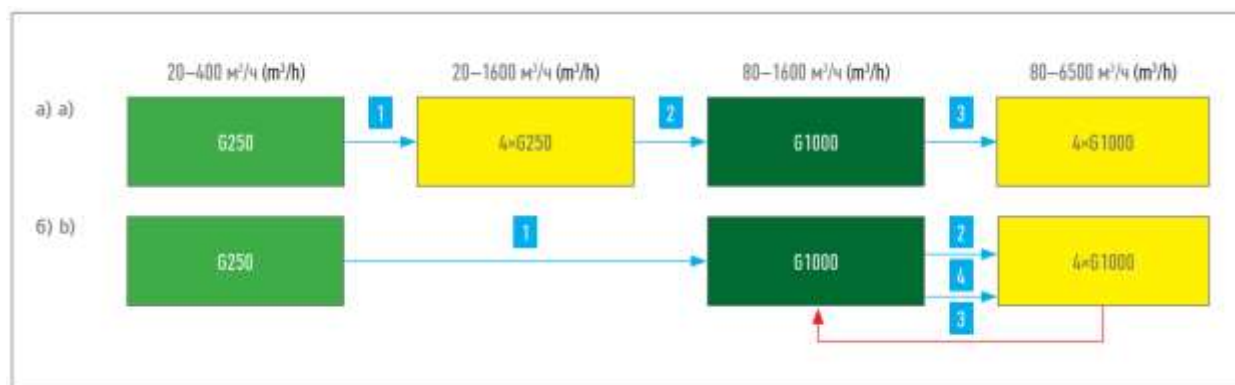
Keyingi bosqichda **to'rtta G2500 ishchi etaloni** yordamida **ikkita parallel joylashtirilgan G10000 taqqoslash etaloni** (har birining $Q_{\max} = 16\,000 \text{ m}^3/\text{h}$) kalibrlanadi. O'z navbatida ushbu etalonlardan sarf birligi **25 000 m³/hgacha G16000 ishchi etaloniga** uzatiladi.

Umuman olganda, FORCE Technology sinov majmuasida **6-rasmda ko'rsatilgan ishchi etalonlar** yordamida **10 dan 32 000 m³/hgacha** bo'lgan sarf o'lchash chegaraida o'lchash vositalarini **0,15÷0,20 %** oralig'idagi **kengaytirilgan noaniqlik bilan kalibrlash imkoniyati mavjud** (1-jadval).

Yuqori bosimli tabiiy gaz sarfi birligini uzatishning turli sxemalarini tahlili

O'tkazilgan tahlil shuni ko'rsatadiki, Yevropaning yetakchi sinov laboratoriyalarida joriy etilgan yuqori bosimli tabiiy gaz sarfi birligini uzatish sxemalari orasida **eng sodda va tushunarli sxema** — bu amaldagi **Pigsar oqimli sarf etalonida** qo'llanilayotgan, **bir darajadagi etalonlardan keyingi darajadagi etalonlarga birlikni ketma-ket va izchil uzatishga asoslangan sxema** hisoblanadi (2-rasm).

EuroLoop (5-rasm) va FORCE Technology (6-rasm) laboratoriyalarida qo'llanilayotgan sxemalar esa ancha murakkab bo'lib, ayrim bosqichlarda **bosqichma-bosqich kengaytirish** jarayonini o'z ichiga oladi. Qo'llanilayotgan yondashuvlar o'rtasidagi asosiy farqlar **G250 taqqoslash etalonidan to'rtta parallel**



ulangan G1000 ishchi etalonlari guruhiga sarf birligini uzatish misolida yaqqol namoyon bo'ladi (7-rasm).

7-rasm. Yuqori bosimli tabiiy gaz sarfi birligini uzatish variantlari

a-variantda birlikni uzatish uch bosqichda amalga oshiriladi va u Pigsar sarf etalonida mavjud bo'lgan **ketma-ket, izchil uzatish sxemasiga** mos keladi.

b-variantda esa bosqichma-bosqich kengaytirish usuli qo'llanilib, jarayon **to'rt bosqichdan** iborat bo'ladi:

1. G250 taqqoslash etalonidan **G1000 taqqoslash etaloni** 400 m³/hgacha kalibrlanadi;
2. G1000 ishchi etalonlari navbatma-navbat 400 m³/hgacha kalibrlanadi;
3. Sarf birligi kengaytirilgan qiymatda (**1600 m³/hgacha**) yana G1000 taqqoslash etaloniga qaytariladi (bosqichma-bosqich kengaytirish bosqichi);
4. G1000 ishchi etalonlari navbatma-navbat 1600 m³/hgacha kalibrlanadi.

7-rasmdan ko'rinib turibdiki, **b-variantni qo'llash** sxemadan **to'rtta G250 ishchi etalonlari guruhini chiqarib tashlash** imkonini beradi. Biroq bunda birlikni uzatish bosqichlari soni ortadi, bu esa **yakuniy bosqichda o'lchash noaniqligi U ning oshishiga** olib keladi.

Shu bilan birga, **a-variantni qo'llashda** sarf etalonining gaz-dinamik konturini shunday loyihalash mumkinki, unda **G1000 taqqoslash etalonidan voz kechilib**, G1000 ishchi etalonlarini **bevosita G250 ishchi etalonlari guruhi orqali kalibrlash** mumkin bo'ladi.

Bundan tashqari, ko'rib chiqilgan uzatish sxemalarida etalon sifatida qo'llanilayotgan **turbinali va rotatsion hisoblagichlar**, odatda, **butun ishchi sarf**

o'lchash chegarai bo'yicha bir xil xatolikka ega emas. Shu sababli hisoblagichlarning ishchi o'lchash chegaraida **o'tish sarfi Q_t** ajratib ko'rsatiladi; odatda $Q_{\max}/Q_{\min} = 20$ bo'lganda $Q_t = 4Q_{\min}$ ga teng bo'ladi.

Kalibrlash xarakteristikasining chiziqlikdan sezilarli og'ishi tufayli $Q_{\min}$ **dan Q_t gacha bo'lgan oraliqda o'lchash xatoligi** o'lchash chegaraning qolgan qismiga nisbatan yuqoriroq bo'ladi. Shuning uchun agar bosqichma-bosqich kengaytirish jarayonida hisoblagichlar dastlab birlikni faqat $Q_{\min} \div Q_t$ oralig'ida qabul qilgan bo'lsa, mazkur o'lchash chegaraga xos bo'lgan **yuqori noaniqlik keyinchalik butun ishchi o'lchash chegaraga tarqaladi.**

b-variantda (7-rasm) birinchi va ikkinchi bosqichlarda G1000 etalonlari birlikni asosan $Q_{\min} \div Q_t$ ($Q_t = 320 \text{ m}^3/\text{h}$) oralig'ida va qisman $Q > Q_t$ sohasida oladi. Shu sababli uchinchi bosqichda G1000 ishchi etalonlari guruhidan ruxsat etilgan noaniqlik bilan birlikni faqat **320÷400, 640÷800, 960÷1200 va 1280÷1600 m³/h** o'lchash chegaralarida — ya'ni bir vaqtning o'zida ulangan etalonlar soniga karrali qiymatlarda uzatish mumkin bo'ladi.

Shunday qilib, **bosqichma-bosqich kengaytirish usulidan foydalanish** sarf birligini uzatishda **ishchi etalonlar sonini kamaytirish**, natijada **sinov qurilmalarining (sarf etaloni) gabaritlari va umumiy qiymatini pasaytirish** imkonini beradi. Aynan shu jihat ushbu usulning amaldagi metrologik laboratoriyalarda keng qo'llanilishining asosiy sababidir.

Biroq, bosqichma-bosqich kengaytirish:

- uzatish sxemasining murakkablashishiga;
- uzatish bosqichlari sonining ortishiga;
- **sinov qurilmalarida (sarf etalonida)** o'lchash vositalarini kalibrlashdagi

noaniqlikning oshishiga olib keladi.

Mazkur noaniqlikni baholash esa faqat **ko'p tomonlama tahlil va qo'shimcha eksperimental tadqiqotlar** orqali amalga oshirilishi mumkin.

Xulosa

Yuqori bosimli tabiiy gaz sarfini o'lchash vositalarini **sinash, kalibrlash va tekshirishga mo'ljallangan sarf etaloni yangi ishga tushirish majmualarini yaratish loyihalarini amalga oshirishda**, gaz sarfi birligini uzatish sxemasini davlat qiyoslash sxemasiga muvofiq 1-darajali etalonlar aniqlik ko'rsatkichlariga javob beradigan tarzda tashkil etish zarur.

Maqolada keltirilgan tahlil natijalariga asoslanib, **sarf birligini uzatish zanjirini ketma-ket va izchil uzatish sxemasi asosida tashkil etish**, ya'ni **bosqichma-bosqich kengaytirish usulidan imkon qadar voz kechish** tavsiya etiladi. Bu yondashuv ishchi etalonlar sonining (asosan kichik o'lchamdagi G250

tipidagi etalonlar hisobiga) ma'lum darajada oshishini talab etsa-da, **uzatish bosqichlari sonini minimallashtirish**, shuningdek **o'lchash vositalarini kalibrlashdagi noaniqlikni kamaytirish** imkonini beradi.

Yuqoridagilarni inobatga olgan holda, respublikada diametri 400 mm va undan yuqori bo'lgan gaz sarfi o'lchash vositalarini metrologik tekshiruv laboratoriyasini tashkil etish **sarf birligini uzatish zanjirini ketma-ket va izchil uzatish sxemasi asosida** magistral gaz quvurlarida o'rnatilgan kompressor stansiyalari bazasida **baypas usulada tashkil etish** maqsadga muvofiq.

ADABIYOTLAR RO'YHATI:

1. Stepanov S.E., Xlinin A.S. *Metodologiya razvitiya poverochnykh sxem dlya sredstv izmereniy rasxoda gaza // Texnicheskie i programmnye sredstva sistem avtomatizatsii*// 2020 №4(42) 9, s. 2-9.
2. Gorchev A.I., Mingaleev A.V., Yakovlev A.B., *Analiz sxem peredachi edinis ob'emnogo rasxoda prirodnogo gaza vysokogo davleniya // Standartizatsiya i upravlenie kachestvom.* № 3 | 813 | 2021 g, s. 114-123.
3. Kryukov O.V., Stepanov S.E. *Modernizatsiya sistem upravleniya EGPA v usloviyax deystvuyushchix kompressornykh stansiy // V sbornike: Problemy avtomatizatsii i upravleniya v texnicheskix sistemax.* MNTK pod redaksiyey M.A. Щerbakova. 2013, s. 29-32.
4. Vasenin A.B., Kryukov O.V. *Proektirovanie elektromexanicheskoy chasti i sistem upravleniya energeticheskix ustanovok gazotransportnykh potrebiteley // Izvestiya TGU. Texnicheskie nauki.* 2011, № 5-1, s. 47-51.
5. Kansarov M.R., Gorchev A.I., Isaev I.A. i dr. *Konsepsiya sozdaniya v Rossiyskoy Federatsii gosudarstvennogo pervichnogo spetsialnogo etalona edinis rasxoda prirodnogo gaza vysokogo davleniya // Gazovaya promyshlennost.* 2019. № S2 (786). S. 34-40.
6. Gorchev A.I., Isaev I.A., Yakovlev A.B. *Pervichnye etalony edinis rasxoda prirodnogo gaza vysokogo davleniya // Gazovaya promyshlennost.* 2018. № 10 (775). S. 110-116.
7. Van der Grinten J., Foulon H., Gunnarsson A., et al. *Reducing measurement uncertainties of high-pressure gas flow calibrations by using reference values based on multiple independent traceability chains // Technisches Messen,* 2018. Vol. 85. No. 12. P. 754-763.

8. Gorchev A.I., Isaev I.A., Yakovlev A.B. *Etalonnnye ispytatelnye sentry rasxoda prirodnogo gaza vysokogo davleniya* // *Gazovaya promyshlennost*. 2019. № 8 (788). S. 110–116.
9. Mickan B., Kramer R., Hotze H.-J., et al. *Pigsar – the extended test facility and new German National Primary Standard for high pressure natural gas*
10. Van der Grinten J., Vieth D., Mickan B. *The new Closed Loop Pigsar calibration facility and its design uncertainty*.
11. Vieth D., Van der Grinten J., Mickan B., et al. *Extension of the Pigsar™ high-pressure gas meter test facility: the new “Closed Loop Pigsar”*.
12. Van der Beek M.P., Landheer I.J. *“NMi TraSys”, the ultimate carrier & multiplier for the unit of volume for high-pressure natural gas* // *FLOMEKO 2003: Proceedings of the 11th IMEKO TC9 Conference on Flow Measurement*. Groningen: IMEKO TC9, 2003. 16 p.
13. Bergervoet J.T.M. *Spin-offs from the development of rotary gas meters* // *FLOMEKO 2003: Proceedings of the 11th IMEKO TC9 Conference on Flow Measurement*. Groningen: IMEKO TC9, 2003. 15 p.
14. EuReGa. *Traceability chains of EuReGa Participants for high-pressure natural gas*
15. Busk J. *Experience with gas calibration within the last 30 years*.