

Висновки

1. Зі зростанням попередньої пластичної деформації сталі 17Г1С відбувається інтенсивне підвищення параметрів міцності $\sigma_{0,2}$ і σ_B і спад параметрів пластичності δ і ψ . Найбільш чутливими є показники $\sigma_{0,2}$ і δ . Так, за ступеня деформації $\epsilon_{pc} = 30\%$ величина $\sigma_{0,2}$ зросла порівняно з вихідним станом матеріалу в 2,09 разів, а δ – зменшилася в 5,2 разів.

2. Результати випробовувань на ударну в'язкість (за Шарпі) свідчать що із збільшенням величини попередньої пластичної деформації крутизна кривих холодноломкості спадає. Перехід до ударних випробовувань зразків з концентратором у вигляді нанесеної втомної тріщини різко зміщує нижню температуру холодноломкості в бік вищих значень. Тріщиностійкість сталі 17Г1С за ударного навантаження зменшується з підвищенням ступеня попередньої пластичної деформації. Це пов'язано з блокуванням дислокацій внаслідок змін в субструктурі наклепаного матеріалу та розтріскуванням карбідних частин, яке посилює утворення мікротріщин, що призводить до зменшення величини роботи руйнування.

3. Із підвищенням ступеня попередньої пластичної деформації статична та циклічна тріщиностійкість сталі 17Г1С змінюється екстремально: за малих ступенів обтискання ці характеристики зростають, а потім – зменшуються. З ростом величини ΔK за циклічного навантаження та переходу до статичного навантаження оптимальний ступінь деформації зменшується від 25% до 10%.

Надалі слід звернути увагу на вивчення впливу попередньої пластичної деформації в робочих середовищах (особливо, наводненому) та тріщиностійкість сталі 17Г1С.

Література

- 1 Перун И.В. Магистральные трубопроводы в горных условиях. – М.: Недра, 1987. – 175 с.
- 2 ВБН В.2.3-00018201.04-2000. Розрахунок на міцність діючих магістральних трубопроводів з дефектами. – К.: Держнафтогазпром, 2000. – 57 с.
- 3 ГОСТ 25.506-85. Расчёты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 62 с.
- 4 РД 50-345-82. Методические указания. Расчёты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при циклическом нагружении. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 95 с.
- 5 Оцінка в'язких властивостей трубної сталі 17Г1С за складовими ударної в'язкості / Д.Ю. Петрина, Д.С. Вуйцик, О.В. Корнута, Л.Г. Петрина // Методи та прилади контролю якості. – 2007. - № 19. – С. 46-51.
- 6 Кинетика и механизм роста усталостной трещины в железе / О.Н. Романив, Е.А. Шур, А.Н. Ткач, В.Н. Симинькович // Физ.-хим. механика материалов. – 1981. – № 2. – С. 57-66.

УДК 622.243.054:004.18

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГІЇ ДЕФОРМАЦІЇ ТА ОБЕРТАННЯ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ У ВЕРТИКАЛЬНІЙ СВЕРДЛОВИНІ

І.І. Чудик, В.В. Грицив

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 45560
e-mail: chudoman@ukr.net*

Представлена методика расчета энергии, необходимой для вращения буровой колонны в скважине с учетом возможных сопротивлений. При разработке учитывается влияние множества факторов, в том числе и липкости фильтрационной корки, вязкости бурового раствора, форм вращения, гидростатического давления в скважине на устойчивость буровой колонны в целом. В данном направлении ведутся дальнейшие исследования.

There is the methodology of the use of energy needed for the drill pipe rotation in the hole, which takes into account the any possible resistance. The impact of many factors is taken into account, including the tackiness of the filtrational scum, drilling mud viscosity, the way of rotation, the hydraulic pressure in the hole on the drill column resistance in general. The re-searches of these continue even now.

Основним технологічним процесом буріння свердловини є поглиблення вибою шляхом механічного руйнування гірської породи. Одним із напрямів його вдосконалення є зменшення енергетичних затрат з одночасним забез-

печенням відповідної якості та темпів виконання, що вимагає передачі з устя на її вибій необхідної потужності з найбільш ефективною реалізацією у процесі механічного руйнування гірської породи. Основною виконавчою ланкою

цього процесу є бурильна колона, яка забезпечує необхідне осьове навантаження, передачу крутного моменту та подачу бурового розчину від насоса до долота. Під час її обертання енергопровідність обумовлюється низкою чинників, а саме: поперечними розмірами стовбура і труб, наявністю у промивальній рідині частинок шламу, викривленням окремих ділянок свердловини та адгезійною взаємодією металу із фільтраційною кіркою, кількісний і якісний вплив яких ще потребує поглиблених досліджень. Тому, враховуючи значимість для буріння свердловини продуктивності роботи бурильної колони, об'єктом дослідження вибираємо затрати енергії на процес її обертання при роторному способі з врахуванням вказаних чинників, які не враховувалися попередниками.

У процесі поглиблення вибою зростають: довжина бурильної колони, енергоємність руйнування гірської породи, її ущільнення і гідростатичний тиск та зменшується діаметр і здатність передавати долоту необхідний крутий момент, що зумовлюють сповільнення темпів проходки [6]. Тому для розрахунку енергоємності бурильної колони у процесі її обертання необхідно встановити:

1. Чинники і частку їх впливу на розподіл крутного моменту по довжині колони труб.

2. Оптимальні умови обертання з мінімальними енергозатратами.

Дослідженням обертання бурильної колони присвячено багато наукових праць [1-10, 12], якими встановлено, що даний процес залежить від багатьох аспектів, кількісна та якісна оцінка яких потребує суттєвих досліджень.

При роторному способі буріння на бурильну колоно діють [2, 6 - 8]:

1. Осьові зусилля розтягу і стиску від власної ваги.

2. Згинаючі зусилля, які виникають у бурильній колоні, розташованій у викривленій ділянці свердловини.

3. Крутий момент та гідравлічний тиск промивальної рідини всередині труб і в кільцевому просторі.

4. Сили тертя і прилипання між бурильною колоною і стінками свердловини (обсадною колоною).

5. Відцентрові динамічні сили, викликані обертанням.

Під впливом вказаних чинників бурильна колона набуває різних форм (плоскої, просторової) згину і характеру обертання у стовбурі свердловини. Як показали теоретичні [1, 4, 6, 7 і ін.] та експериментальні дослідження [2, 5, 9, 12 і ін.], динамічна рівновага бурильної колони може спостерігатися за таких видів обертання:

1. Навколо власної спіральні-згнutoї осі:

1.1. Із ковзаннями відносно стінок свердловини.

1.2. Без ковзання із зворотнім перекочуванням вздовж стінок свердловини.

2. Навколо осі свердловини.

Рівність потенціальної енергії деформації колони бурильних труб і роботи сил, прикладених до неї, описується такою залежністю:

$$U_i - A_{1i} - A_{2i} - A_{3i} - A_{4i} - A_{5i} - A_{6i} - A_{7i} - A_{8i} = 0, \quad (1)$$

де: A_{1i} - робота розтягуючої (стискаючої) осьової сили;

A_{2i} - робота розтягуючої (стискаючої) сили власної ваги;

A_{3i} - робота відцентрової сили;

A_{4i} - робота інерційної сили, обумовленої рухом бурового розчину;

A_{5i} - робота сили тиску бурового насоса;

A_{6i} - робота крутного моменту;

A_{7i} - робота поперечної складової сили власної ваги (особливо в похило-скерованій свердловині);

A_{8i} - робота коливань системи (бурильної колони).

У стовбурі свердловини під впливом різноманітних силових чинників вісь бурильної колони набуває форми (рис. 1), яка з достатньою для дослідження точністю описується рівнянням [5, 7]:

$$y_i = \sin \frac{\pi x m}{L_i}, \quad (2)$$

де: m і L_i - кількість і довжина півхвиль згину бурильної колони ($i \in (1, m)$).

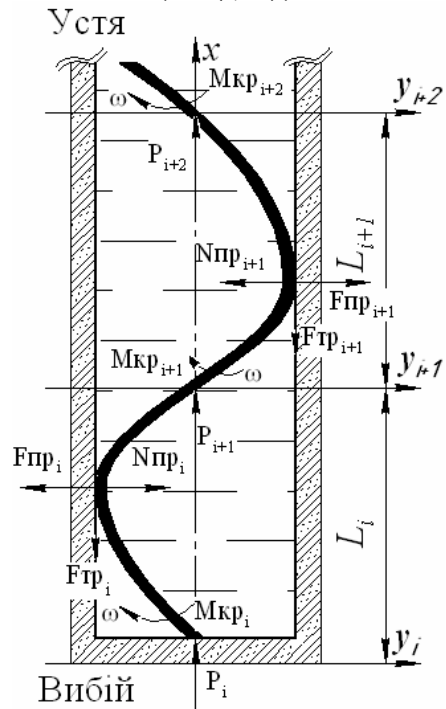


Рисунок 1 – Схема взаємодії бурильної колони зі стінками свердловини

Згідно з розрахунковою схемою:

P_i – осьове навантаження на бурильну колоно;

$M_{кр_i}$ – момент, необхідний для обертання бурильної колони;

ω – кутова швидкість обертання бурильної колони;

$\rho_{БР}$ – густина бурового розчину;

$F_{пр.i}$ – сила притискання вершини півхвилі до стінки свердловини;

$N_{пр.i}$ – реакція стінки свердловини на силу притискання $F_{пр.i}$;

$F_{ТР.i}$ – сила опору осьовому переміщенню бурильної колони.

Крутний момент, необхідний для обертання бурильної колони у свердловині, заповненій буровим розчином, визначається за такою залежністю:

$$Mkp_{i+1} = Mkp_i + Mбр_i + Mтер_i, \quad (3)$$

де: $Mбр_i$ – момент опору під час обертання бурильної колони у в'язкому буровому розчині [5];

$Mтер_i$ – момент опору, обумовлений тертям між бурильною колоною та стінкою свердловини та адгезійною взаємодією її поверхні з фільтраційною кіркою.

$$Mбр_i = \frac{\pi L_i \eta_{бр} D_{\text{ом}}^2 D_{\text{св}}^2}{D_{\text{св}}^2 - D_{\text{ом}}^2} \left[\omega - \frac{\tau_{бр}}{\eta_{бр}} \ln \left(\frac{D_{\text{ом}}}{D_{\text{св}}} \right) \right], \quad (4)$$

$$Mтер_i = (F_{пр.i} \mu_{тер} + S_i A) \frac{D_{\text{ом}}}{2}, \quad (5)$$

$$F_{пр.i} = 2 \frac{q_i}{g} \omega^2 L_i \frac{D_{\text{св}} - D_{\text{ом}}}{\pi^2}; \quad (6)$$

де: $D_{\text{ом}}, D_{\text{св}}$ – діаметри бурильної колони та свердловини;

$\tau_{бр}, \eta_{бр}$ – динамічне напруження зсуву та пластична в'язкість бурового розчину;

$\mu_{тер}$ – коефіцієнт тертя між металом труб та стінкою свердловини чи обсадною колоною;

S_i – площа взаємодії тіла труби із фільтраційною кіркою [1];

A – показник міцності фільтраційної кірки під час зсуву [11];

q_i – вага погонного метра бурильних труб у буровому розчині;

$g = 9.81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

Осьове навантаження на бурильну колону визначається за наступною залежністю:

$$P_i = P_{i-1} - q_i L_i \cos(\alpha) - (F_{пр.i} \mu_m + S_i A), \quad (7)$$

де α – зенітний кут нахилу осі свердловини.

Існує ряд експериментальних [5, 9, 12] та аналітичних [1, 5, 7, 10, і ін] досліджень, які встановили наближені залежності потужності на обертання бурильної колони від впливу основних чинників у процесі буріння. Складність врахування окремих науковці усунули прийняттям низки спрощень математичних моделей процесу обертання бурильної колони. До них належать: коливання, адгезія, різні форми обертання і ін.

Згідно з встановленими умовами взаємодії бурильної колони із стінками свердловини, вирішення задачі її динамічної рівноваги під впливом дій зовнішніх сил проведено енергетичним методом. При цьому потенціальна енергія деформації бурильної колони виражається наступною залежністю:

$$U_i = \frac{f}{2} \int_0^{L_i} EI_i [y''(x)]^2 dx = \frac{EI_i f^2 \pi^4}{4L_i^3}, \quad (8)$$

де EI_i, f – жорсткість на згин та стріла прогину бурильної колони.

$$A_{1i} = \pm \frac{P_i}{2} \int_0^{L_i} y'(x) dx = \pm \frac{P_i f^2 \pi^2}{4L_i}, \quad (9)$$

де «+» – для розтягнутої частини бурильної колони, «-» – в стиснутій.

$$A_{2i} = \pm \frac{1}{2} \int_0^{L_i} q_i x \cos(\alpha) [y'(x)]^2 dx = \pm \frac{q_i}{8} \cos(\alpha) f^2 \pi^2, \quad (10)$$

$$A_{3i} = \int_0^{L_i} \int_0^y \frac{q_i \omega^2}{g} y(x) dx dy = \frac{q_i}{4g} \omega^2 f^2 L_i, \quad (11)$$

$$A_{4i} = \frac{\rho_{бр} f^2 \pi^2}{4L_i} (F_e v_e^2 + F_{кн} v_{кн}^2), \quad (12)$$

де: F_e і $F_{кн}$ – площі поперечних перерізів проходного каналу бурильних труб і кільцевого простору за ними;

v_e і $v_{кн}$ – швидкості течії промивальної рідини в перерізах, площами F_e і $F_{кн}$.

$$A_{5i} = \frac{P_0}{2} \int_0^{L_i} [y'(x)]^2 dx =$$

$$= \left[P_0 F_0 + \left(\left[\rho_{бр} + \frac{P_{кн}}{Lg} \right] F_{кн} - \left[\rho_{бр} - \frac{P_{\text{ом}}}{Lg} \right] F_e \right) L_i g \right] \frac{f^2 \pi^2}{4L_i}, \quad (13)$$

де: $P_{\text{ом}}, P_{кн}, P_0$ (P_0) – відповідно втрати тиску в трубах, у кільцевому просторі та насадках долота;

F_0 – площа поперечного перерізу проходних отворів насадок долота.

$$A_{6i} = \frac{2Mkp_i^2 \pi^2 f^2}{EI_i L_i}, \quad (14)$$

$$A_{7i} = \frac{1}{2} \int_0^{L_i} q_i y(x) dx = \frac{q_i L_i f \sin(\alpha)}{2\pi}, \quad (15)$$

$$A_{8i} = \frac{q_i}{g} \int_0^{L_i} \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 dx = \frac{q_i}{4g} f^2 \omega^2 L_i \cos^2(\omega t) \quad (16)$$

де t – період коливання бурильної колони.

Під час розглядання сукупного впливу на динамічну стійкість бурильної колони таких чинників, як $D_{\text{ом}}, D_{\text{св}}, q_i, EI_i, \rho_{БР}, F_e, F_{кн}, v_e, v_{кн}, P_{\text{ом}}, P_{кн}, P_0, F_0, \mu_{тер}, t, \alpha$, отримуємо систему рівнянь (17) (з рівнянь (1) та (9)-(16)) для визначення невідомих A_{im} та L_m, U_m :

$$\begin{cases}
 U_i - A_{1i} - A_{2i} - A_{3i} - A_{4i} - A_{5i} - \\
 - A_{6i} - A_{7i} - A_{8i} = 0 ; \\
 U_i = \frac{EI_i f^2 \pi^4}{4L_i^3} ; \\
 A_{1i} = \pm \frac{P^2 f^2 \pi^2}{4L_i} ; \\
 A_{2i} = \pm \frac{q_i}{8} \cos(\alpha) f^2 \pi^2 ; \\
 A_{3i} = \frac{q_i}{4 \cdot g} \omega^2 f^2 L_i ; \\
 A_{4i} = \frac{\rho_{\text{бп}} f^2 \pi^2}{4L_i} (F_{\text{в}} v_{\text{в}}^2 + F_{\text{кн}} v_{\text{кн}}^2) ; \\
 A_{5i} = \left[P_0 F_0 + \left(\left[\rho_{\text{бп}} + \frac{P_{\text{кн}}}{Lg} \right] F_{\text{кн}} - \right. \right. \\
 \left. \left. - \left[\rho_{\text{бп}} - \frac{P_{\text{бм}}}{Lg} \right] F_{\text{в}} \right) L_i g \right] \times \frac{f^2 \pi^2}{4L_i} ; \\
 A_{6i} = \frac{2Mkp_i^2 \pi^2 f^2}{EI_i L_i} ; \\
 A_{7i} = \frac{q_i L_i f \sin(\alpha)}{2\pi} ; \\
 A_{8i} = \frac{q_i}{4g} f^2 \omega^2 L_i \cos^2(\omega t) .
 \end{cases} \quad (17)$$

При цьому розрахунок проводиться в напрямі від долота вгору по довжині бурильної колони і для кожної наступної півхвилі згину обчислення за системою рівнянь (17) повторюється заново з поправкою на втрату крутного моменту (4) і осьового навантаження (8).

У кінцевому результаті визначаємо крутний момент, затрати потужності на подолання опорів обертання та енергії:

$$N = \sum_{i=1}^m M_{kp_i} \omega, \quad (18)$$

$$E = N \cdot T, \quad (19)$$

де T – час обертання бурильної колони.

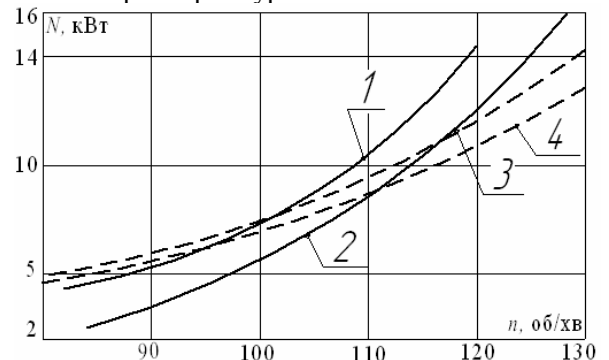
Для кількісної і якісної оцінки точності запропонованої аналітичної моделі співставимо її результати з експериментальними промисловими даними [5], при наступних вихідних параметрах:

1. Діаметр свердловини: 190,5 мм;
2. Обваженні бурильні труби: ОБТ 146×80, $l_{\text{ОБТ}} = 55$ м;
3. Бурильні труби: ОБТ 89×9 мм, $l_{\text{БТ}} = 980$ м;
4. Глибина свердловини: $H_{\text{св}} = 1035$ м;
5. Глибина спуску проміжної колони і її діаметр: $H_{\text{нр}} = 403$ м, $d_{\text{нр}} = 219 \times 10$ мм;
6. Зенітний кут нахилу осі свердловини: $\alpha = 3^\circ$;

7. Продуктивність насоса: $Q = 0.02$ м³/сек.;
8. Діаметр насадок долота і їх кількість: $d_{\text{н}} = 0,01$ м, $n = 3$ шт.;
9. Густина бурового розчину: $\rho_{\text{бп}} = 1200$ кг/м³;
10. Коефіцієнт тертя: $\mu = 0,26$;
11. Товщина фільтраційної кірки: $f = 1$ мм;
12. Показник міцності фільтраційної кірки на зсув: $A = 0,5 \cdot 10^4$ Н·м²;
13. Швидкість обертання бурильної колони: $\omega = 8 - 14$ с⁻¹;
14. Осьове навантаження на долото: $P_{\text{дол}} = 20 - 60$ кН.

Розрахунок проводиться у випадку обертання бурильної колони навколо власної осі з припущенням того, що непрямолінійність і нециліндричність стовбура не дозволяє обертатися трубам навколо осі свердловини.

При співставленні результатів експериментальних і аналітичних досліджень (рис. 2) встановлено, що дані аналітичних розрахунків за наведеною методикою вони добре збігаються з експериментальними, особливо при значенні кутової швидкості обертання долота 90 – 110 с⁻¹ та осьових навантаженнях 60 кН. Це підтверджує високу точність запропонованої математичної моделі розрахунків сил взаємодії бурильної колони із стовбуром свердловини у процесі обертання, затрат потужності та енергії при цьому. Дану методику можна використовувати для подальших досліджень обертання бурильної колони у стовбурі свердловини з переходом до визначення розподілу енергії процесу на спектри окремих складових із врахуванням наближених до реальних умов взаємодії довгомірної трубної системи та стінок свердловини під впливом різноманітних режимно-технологічних параметрів буріння.



згідно з дослідженням [5]: 1 – $P_{\text{дол}} = 20$ кН; 2 – $P_{\text{дол}} = 60$ кН; згідно із запропонованою методикою: 3 – $P_{\text{дол}} = 20$ кН; 4 – $P_{\text{дол}} = 60$ кН

Рисунок 2 – Залежність потужності на холосте обертання бурильної колони від частоти її обертання

Література

- 1 Александров М.М. Силы сопротивления при движении труб в скважине. – М.: Недра, 1978. – 207 с.
- 2 Голубев Г.Р., Новиков А.А. Трение, износ и защита бурильных колонн в глубоком бурении. – М.: Недра, 1981. – 158 с.

3 Янтурин А.Ш. Исследование деформации бурильной колонны в процессе бурения. Автореф. дис. канд. техн. наук. – Тюмень, 1975. – 26 с.

4 Івасів В. М. Методи та засоби управління бурильною колонною для забезпечення її надійності. Автореф. дис. докт. техн. наук. – Івано-Франківськ, 1999, – 31 с. 5 Работа бурильной колонны в скважине / Б.З.Султанов, Е.И.Ишемгужин, М.Х.Шаммасов, В.Н.Сорокин. – М.: Недра, 1973. – 217 с.

6 Кирия Т. А. Совершенствование проходки глубоких скважин. – М.: Недра, 1971. – 167 с.

7 Сароян А. Е. Теория и практика работы бурильной колонны. – М.: Недра, 1990. – 264 с.

8 Расчет бурильных труб в геологоразведочном бурении / Е.Ф.Епштейн, В.И.Мацейчик, И.И.Ивахнин, А.Ш.Асатурян. – М.: Недра, 1979. – 160 с.

9 Подавалов Ю.А. Исследование распределения крутящего момента по длине сжатой части бурильной колонны при роторном бурении // Труды ВНИИТнефть. – 1978. – Вып. 10. – С. 57–62.

10 Практические расчеты в бурении / В.С.Федоров, В.Г.Беликов, Ф.Д.Зенков и др. – М.: Недра, 1966. – 600 с.

11 Зейналов И. Э. Исследование влияния фильтрации бурового раствора и свойств жидкостей, используемых в качестве ванны на характер взаимодействия колонны труб в глинистой корке // Изв. ВУЗов Нефть и газ. – 1991. – №8. – С. 46-51.

12 Измерение сил, действующих на колонну бурильных труб и ее элементов движения в процессе бурения / Дейли, Дейринг, Пафф, Ортлофф, Линн // Тр. АОИМ. Конструирование и технология машиностроения. – 1968. – №2. – С. 24-34.

УДК 389:681.121

КОНЦЕПЦІЯ РОЗВИТКУ ДЕРЖАВНОЇ ПОВІРОЧНОЇ СХЕМИ ДЛЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ОБ'ЄМУ ТА ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

О.Є.Середюк, І.С.Кісіль

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 46077

e-mail: zarichna@nung.edu.ua

Обоснована необхідність удосконалення поверочної схеми для средств измерения объема и объемного расхода газа. Предложены технические и методологические новшества развития поверочной схемы для передачи единиц измерения с учетом изменения вида рабочей среды

The ground of the necessity for improvement of the verification scheme for the means measuring volume and volume flow rate of gas is conducted. The technical and methodological innovations of the development of the verification scheme for transference of the units of the measure is proposed and the kind of the working environment is took into consideration

Постановка проблеми. Одним із напрямків досягнення енергетичної безпеки країни шляхом раціонального використання енергоносіїв є впровадження сучасних засобів і методів вимірювання об'єму та об'ємної витрати природного газу. Це можливо за умови вдосконалення існуючої національної еталонної бази та створення нових еталонних засобів у галузі витратометрії природного газу, а також застосування новітніх технологій метрологічного забезпечення обліку газу у народному господарстві і побуті. Тому покращенню метрологічного забезпечення у цій сфері надається значна увага, зокрема як в технічному аспекті шляхом розроблення нових еталонних засобів, так і нормативному - шляхом розроблення нових документів метрологічного спрямування. Свідченням цього є створення в Україні в 1996 році державного спеціального еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу ДЕТУ 03-01-96 і впровадження в дію державного стандарту ДСТУ 3383-96 [1]. Однак зростаючі вимоги до

точності вимірювання об'єму і витрати газу зумовили розроблення і впровадження в експлуатацію робочих засобів витратовиміральної техніки підвищеної точності при одночасному суттєвому розширенні парку вказаних приладів обліку привели до необхідності вдосконалення державної повірочної схеми в галузі витратометрії газу [2] і набуття з 01.07.2007р. чинності нової редакції національного стандарту України ДСТУ 3383:2007 [3].

Однією із найважливіших новацій цієї повірочної схеми є зростання числа ступенів передавання одиниць об'єму і об'ємної витрати газу, а також запровадження у галузі витратометрії нових видів еталонних засобів, зокрема, еталонів передавання, вторинних еталонів і робочих еталонів, які в попередній редакції повірочної схеми [1] були об'єднані в одне поле зразкових засобів виміральної техніки. Однак нова повірочна схема передбачає її реалізацію тільки на одному виді газу, наприклад, повітрі, газі-заміннику чи природному газі. Вод-