

що експериментально перевірити дуже важко, оскільки крива корозійної втоми в координатах $\sigma_a - N$ асимптотично наближується до осі абсцис, і нескінченно зростає база випробовувань.

Комп'ютерна екстраполяція кривих S_g/S_d , $S_{к.г.}/S_d - \sigma_a$ на вісь абсцис (рис. 4) вказує на можливість існування спільного значення σ_a , близького до величини границі міцності при повторному статичному згині $\sigma_{мі}^{\delta}$, при якому $S_g/S_d = S_{к.г.}/S_d = 0$.

Непружність у морській воді спостерігається і при σ_a , менших від циклічної границі текучості $\sigma_{0,2}^{*ц}$, що зумовлено адсорбційно-електрохімічною дією середовища та низькочастотним фактором; відповідно крива 3 розташована правіше кривої 2 (рис. 5).

Розглянуті явища вказують на недостатність класичних методів розрахунку на міцність несучих елементів конструкцій морських трубопроводів за пружним чи пластичним станом та на необхідність їх доповнення новими методами, які враховують закономірності деформації, зародження та розвитку тріщин, зміни фізико-механічних характеристик в процесі експлуатації тощо.

Література

1. Kuriakides S., Netto T. A. On the dynamics of propagating buckles in pipelines // Int. J. Solids and Struct. – 2000. – 37, № 46-47. – P.6843-6867.

2. Побережний Л. Я. Закономірності деформації і руйнування морських трубопроводів при статичному та низькочастотному навантаженні: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.15.13 / Івано-Франківський національний техн. ун-т нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2002. – 19 с.

3. Крижанівський Є.І., Побережний Л.Я. Методологічні аспекти дослідження взаємозв'язку процесів деформації та руйнування трубопроводів // Нафт. і газова пром-сть. – 2002. – № 5. – С. 33-38

4. Крижанівський Є.І., Побережний Л.Я. Особливості деформування текстурованої сталі трубопроводу при навантаженні чистим згином // Науковий вісник національного технічного університету нафти і газу. – 2001. – № 1. – С. 57-61.

5. Крижанівський Є.І., Побережний Л.Я. Деформаційна поведінка сталі трубопроводу при низькочастотній втомі // Трибофатика: Пр. 4-го Міжнародного симпозиуму з трибофатики, 23-27 вересня 2002 р., Тернопіль (Україна) / Відп. ред. В. Т. Трошенко. – Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет ім. І.Пулюя, 2002. – Т. 1. – С. 296-300.

6. Карпенко Г.В. Влияние среды на прочность и долговечность металлов. – К.: Наук. думка, 1976. – 128 с.

УДК 539.3

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ В ОКОЛІ КІЛЬЦЕВОГО ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ ТРУБ З УРАХУВАННЯМ СТРУКТУРНИХ ЗМІН В ЗОНІ ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ

¹Ю.В.Банахевич, ²В.А.Осадчук, ²А.Р.Дзюбик

¹ Філія УМГ "Львівтрансгаз", 79047, м. Львів, вул. Рубчака, 3, тел. (0322) 634105

² Національний університет "Львівська Політехніка", 79013, м. Львів, вул. С.Бандери, 13, тел. (0322) 398518, 398798

Предложен подход к определению остаточных напряжений расчетно-экспериментальным методом с учетом влияния структурно-фазового состава материала сварного соединения на магнитную проницаемость, на которой базируются измерения с помощью приборов магнито-упругой тензометрии. Получен новый функционал для определения поля условных пластичных деформаций. Представлены результаты моделирования распределения остаточных напряжений в сварном соединении труб кольцевым швом с использованием экспериментально полученных данных.

В роботі запропоновано підхід до визначення залишкових напружень у кільцевому зварному з'єднанні з урахуванням впливу структурно-фазового складу шва на магнітопружні

The approach to definition of residual pressure by a settlement – experimental method is offered in view of influence of structural-phase structure of welded connection on magnetic permeability on which measurements with the help of magnetic devices are based. It is received new function for definition of a field of conditional plastic deformations. Results of modelling of distribution of residual pressure in welded connection of pipes by a ring seam with use of experimentally received data are submitted.

властивості матеріалу. При цьому використовується розрахунково-експериментальний метод умовних пластичних деформацій [1]. Цей метод ґрунтується на використанні розв'язків рів-

нянь механіки деформівних тіл з власними напруженнями та експериментальної інформації, отриманої фізичними методами, і на основі розв'язків обернених задач дає змогу відтворити залишкові напруження в довільній точці елемента конструкції. В даній роботі використовується експериментальна інформація, отримана методом магнітопружності [2]. При застосуванні цього методу з використанням запропонованої в роботі [3] методики враховано, що в зоні термічного впливу відбуваються зміни структурно-фазового складу матеріалу, які впливають на магнітну проникність, за значеннями якої обчислюється різниця головних напружень на поверхні труби.

Використовуючи метод умовних пластичних деформацій, компоненти тензора повної деформації e_{ij} зображують у вигляді

$$e_{ij} = e_{ij}^e + e_{ij}^0,$$

де: e_{ij}^e – компоненти тензора пружної деформації;

e_{ij}^0 – компоненти тензора пластичних деформацій, несумісність яких зумовлює виникнення залишкових напружень.

Розглянемо трубу, зварену з двох частин кільцевим швом, і для визначення залишкових напружень використаємо рівняння теорії циліндричних оболонок з залишковими деформаціями [4]. Позначимо через R та $2h$ відповідно радіус серединної поверхні оболонки та товщину її стінки. Віднесемо оболонку до триортogonalної системи координат α, β, γ і початок координат виберемо на осі шва. При цьому

$\alpha = \frac{x}{R}$ (x – відстань точки від осі шва, взята вздовж твірної); β – кут, що утворюється площиною, яка проходить через дану точку і вісь обертання, з початковою площиною; γ – відстань до точки вздовж зовнішньої нормалі до серединної поверхні. Тоді у випадку осесиметричної задачі осьові $e_{\alpha\alpha}$ і колові $e_{\beta\beta}$ деформації запишемо у вигляді

$$e_{ii}(\alpha, \gamma) = e_{ii}^e(\alpha, \gamma) + e_{ii}^0(\alpha, \gamma), \quad i = \alpha, \beta. \quad (1)$$

Розв'язуючи ключові рівняння циліндричної оболонки, що знаходиться під дією поля пластичних деформацій $e_{ii}^0(\alpha, \gamma)$, вираз для визначення прогину W серединної поверхні сталеві труби можна записати у формі [5]

$$W(\alpha) = \frac{aR}{2} \int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} \varepsilon_{\beta\beta}^0(\xi) K_1(\xi - \alpha) d\xi + \frac{R^2}{4a} \int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} [\varkappa_{\alpha\alpha}^0(\xi) + \mu \varkappa_{\beta\beta}^0(\xi)] K_2(\xi - \alpha) d\xi, \quad (2)$$

$$\text{де: } a^4 = 3R^2(1 - \mu^2)/(4h^2);$$

μ – коефіцієнт Пуассона;

$$K_1(\xi - \alpha) = e^{-a|\xi - \alpha|} \times [\cos a(\xi - \alpha) + \sin a(\xi - \alpha)];$$

$$K_2(\xi - \alpha) = e^{-a|\xi - \alpha|} \times [\cos a(\xi - \alpha) - \sin a(\xi - \alpha)];$$

$\varepsilon_{\beta\beta}^0, \varkappa_{\alpha\alpha}^0, \varkappa_{\beta\beta}^0$ – усереднені за товщиною характеристики поля пластичних деформацій

$$\varepsilon_{ii}^0(\alpha) = \frac{1}{2h} \int_{-h}^h e_{ii}^0(\alpha, \gamma) d\gamma;$$

$$\varkappa_{ii}^0(\alpha) = \frac{3}{2h^3} \int_{-h}^h e_{ii}^0(\alpha, \gamma) \gamma d\gamma;$$

$$\alpha_0 = \frac{x_0}{R}$$

(x_0 – півширина зони пластичних деформацій).

Формули для визначення зусиль та згинальних моментів в оболонці у випадку багатопрохідного шва можна записати таким чином [1]:

$$\left. \begin{aligned} N_2 &= D_0 \left(\frac{W}{R} - \varepsilon_{\beta\beta}^0(\alpha) \right); \\ M_1 &= -\frac{D_1}{R^2} \left[\frac{d^2 W}{d\alpha^2} + R^2 (\varkappa_{\alpha\alpha}^0 + \mu \varkappa_{\beta\beta}^0) \right]; \\ M_2 &= -\frac{D_1}{R^2} \left[\mu \frac{d^2 W}{d\alpha^2} + R^2 (\varkappa_{\beta\beta}^0 + \mu \varkappa_{\alpha\alpha}^0) \right], \end{aligned} \right\} (3)$$

де: $D_0 = 2Eh$;

$$D_1 = \frac{2Eh^3}{3(1 - \mu^2)};$$

E – модуль Юнга.

При цьому поле пластичних деформацій зображується у вигляді

$$e_{\beta\beta}^0(\alpha) = \begin{cases} -\varepsilon_0^* \cdot \varphi(\alpha), & |\alpha| \leq \alpha_0; \\ 0, & |\alpha| \geq \alpha_0; \end{cases} \quad (4)$$

$$e_{\alpha\alpha}^0(\alpha) = k \cdot e_{\beta\beta}^0(\alpha),$$

де: ε_0^* – максимальні пластичні деформації;

$\varphi(\alpha)$ – функція, що описує епюру пластичних деформацій, спричинених зварюванням;

k – числовий параметр [4].

Поле (4) для кожного виду зварювання визначається з відповідного функціонала з використанням доступних експериментальних даних.

Зокрема, функцію $\varphi(\alpha)$ можна зобразити у такому вигляді:

$$\varphi(\alpha) = 1 - p \cdot \frac{\alpha^2}{\alpha_0^2} - (1 - p) \cdot \frac{\alpha^4}{\alpha_0^4}, \quad (5)$$

де p – коефіцієнт, що задає кривину графіка функції.

Для обчислення нормальних напружень у довільній точці оболонки отримуємо формули [5]

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\alpha\alpha}(\alpha, \gamma) &= \frac{1}{2h} \left(\frac{3M_1}{h^2} \gamma \right) + \frac{E\varepsilon_0^*}{1-\mu^2} \sigma_{\alpha\alpha}^* \\ \sigma_{\beta\beta}(\alpha, \gamma) &= \frac{1}{2h} \left(N_2 + \frac{3M_2}{2h^2} \gamma \right) + \frac{E\varepsilon_0^*}{1-\mu^2} \sigma_{\beta\beta}^* \end{aligned} \right\} (6)$$

де $\sigma_{\alpha\alpha}^*(\alpha, \gamma) = \varepsilon_{\alpha\alpha}^0 + \kappa_{\alpha\alpha}^0 \gamma - e_{\alpha\alpha}^0 + \mu(\varepsilon_{\beta\beta}^0 + \kappa_{\beta\beta}^0 \gamma - e_{\beta\beta}^0)$, $\sigma_{\beta\beta}^*(\alpha, \gamma) = \varepsilon_{\beta\beta}^0 + \kappa_{\beta\beta}^0 \gamma - e_{\beta\beta}^0 + \mu(\varepsilon_{\alpha\alpha}^0 + \kappa_{\alpha\alpha}^0 \gamma - e_{\alpha\alpha}^0)$ – нелінійні доданки.

У формули (3)–(6) входять невідомі параметри ε_0^* , α_0 , p , k , що характеризують поле пластичних деформацій. Для їх знаходження будується функціонал, який являє собою суму середньоквадратичних відхилень між величинами теоретично розрахованих характеристик поля напружень та відповідними їм комбінаціями напружень, котрі можна отримати експериментальним шляхом, зокрема, інтегральними величинами напружень, які вимірюють магнітопружним методом – $I_k^E(\sigma_{ij})$. Для них запишемо відповідні вирази через компоненти напру-

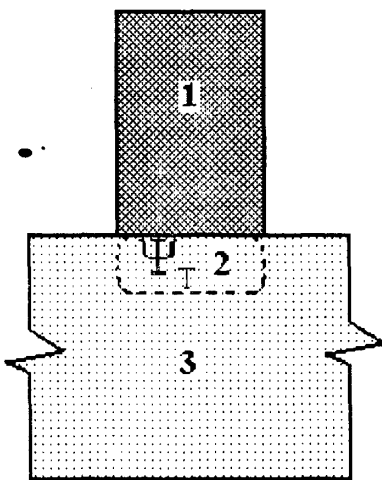
жень. Позначимо ці величини $I_k^T(\sigma_{ij})$ та побудуємо функціонал

$$g(\varepsilon_0^*, \alpha_0, p) = \sum_{n=1}^N \rho_j \left[I_k^T(\varepsilon_0^*, \alpha_0, p, k) - I_k^E(\alpha_n) \right]^2, \quad (7)$$

де: ε_0^* – максимальні пластичні деформації;
 α_0 – півширина області пластичних деформацій;
 p – параметр, що задає кривину графіка функції пластичних деформацій впоперек шва;
 α_n – координати перерізів, у яких використані експериментальні вимірювання;
 k – числовий параметр;
 ρ_j – деякі вагові множники.

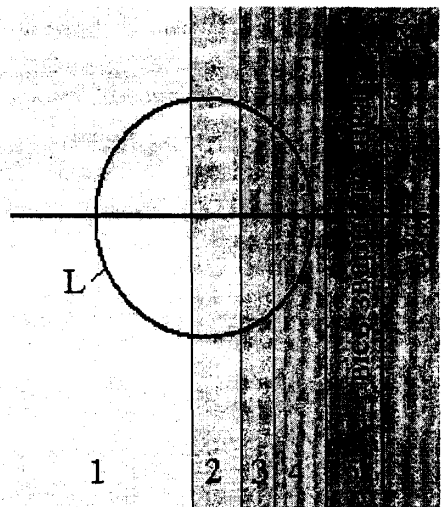
Обернена задача про визначення поля умовних пластичних деформацій зводиться до знаходження параметрів ε_0^* , α_0 , p , k , за яких буде мінімальним функціонал (7). За наближений розв'язок задачі приймемо величини ε_0^* , α_0 , p , k , які забезпечують найменше значення функціонала $g(\varepsilon_0^*, \alpha_0, p, k)$. Підставивши їх у відповідні формули, знайдемо розподіл напружень в околі кільцевого зварного з'єднання для кожного конкретного випадку. Загалом величини $I_k^E(\alpha_n)$ визначають з певними похибками, які враховують при виборі вагових коефіцієнтів ρ_j .

Будуючи функціонал (2) у випадку застосування неруйнівного магнітопружного методу визначення залишкових напружень слід враховувати такі чинники, які призводять до похибок вимірювань:



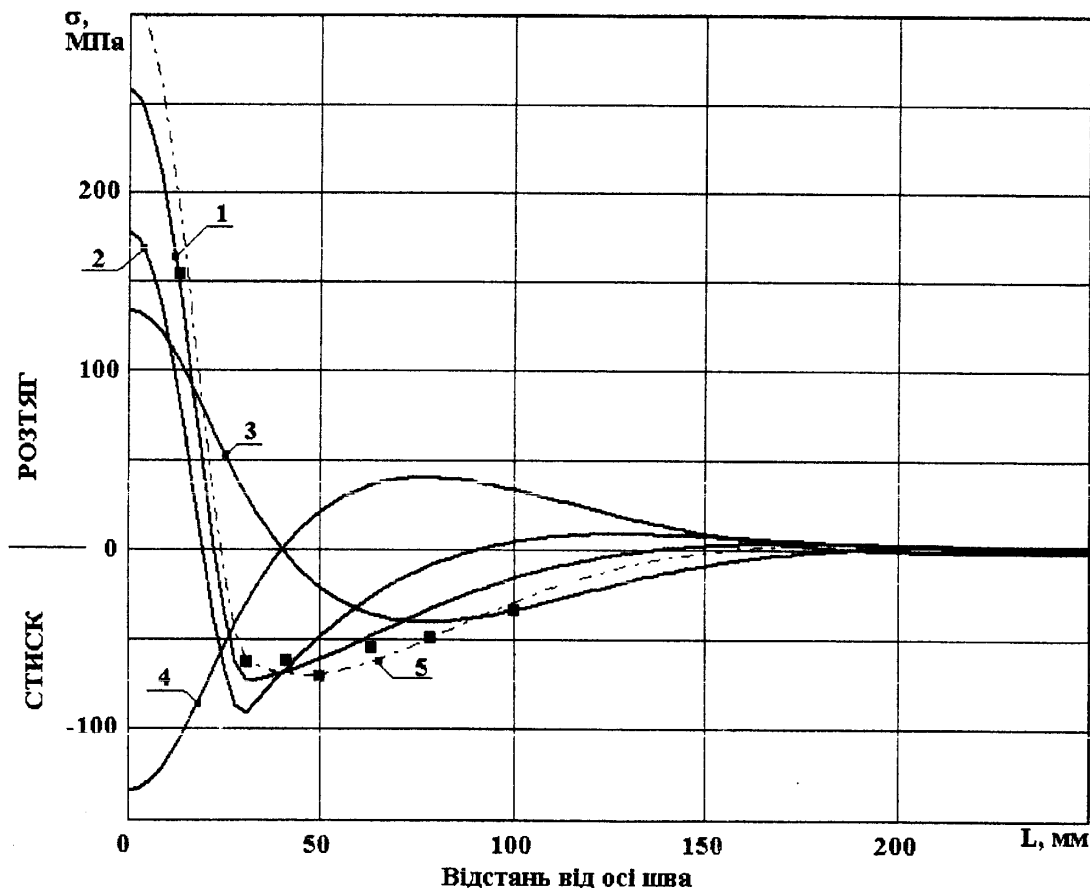
1 – давач; 2 – область взаємодії;
 3 – досліджуваний матеріал

Рисунок 1 — Дослідження напружень магнітопружним методом



L – периметр давача, 1 – основний метал,
 2 – неповна перекристалізація, 3 – нормалізація,
 4 – перегрів, 5 – зварний шов

Рисунок 2 — Розташування давача в зоні термічного впливу



1, 3 – кільцеві та осеві напруження на внутрішній поверхні труб; 2, 4 – кільцеві та осеві напруження на зовнішній поверхні труб; 5 – різниця головних напружень на поверхні металу; ■ – експериментальні дані, отримані магнітопружним методом

Рисунок 3 — Напруження у зварному стиковому з'єднанні труб

– метод дає інформацію не про окремі компоненти напруженого стану, а про їх комбінацію (різницю головних напружень);

– давач приладу не забезпечує достатню локальність досліджуваної області при проведенні вимірювань;

– на покази приладів впливає зміна структурно-фазового складу матеріалу в зоні термічного впливу зварного з'єднання.

Отже, отримані в результаті досліджень значення різниці головних напружень на поверхні металу ($\sigma^{+E}(\alpha) = \sigma_{\beta\beta}(\alpha, +h) - \sigma_{\alpha\alpha}(\alpha, +h)$) є усереднені по досліджуваній під давачем області (рис. 1). Тому отримані на основі теоретичного розв'язку задачі відповідні вирази різниці головних напружень ($\sigma^{+T}(\alpha)$) при підстановці у функціонал (7) необхідно проінтегрувати за поверхнею ψ , на якій виконуються вимірювання (контактна площа давача) [6].

Для врахування впливу зміни структурно-фазового складу матеріалу в околі зварного шва на величину напружень, визначених за допомогою магнітопружного методу, можна використати методику, що описана в роботі [4]. Зазначимо, що визначальним при цьому є розмір ділянки із конкретною структурою та початкові

покази приладу на цій ділянці. Перше з них визначається для кожного конкретного випадку на основі експериментального визначення лінійних розмірів зони термічного впливу, а друге — в лабораторних умовах на спеціальних зразках-імітаторах [4]. В результаті для магнітопружного методу отримуємо деяку замкнену область, яка в зоні термічного впливу зварного з'єднання має змінні початкові значення магнітної проникності. На рис. 2 зображено розташування давача приладу магнітопружного методу в околі зварного шва з'єднання із сталі 17 ГС.

Тоді функціонал (2) запишемо так:

$$\Theta(\varepsilon_0^*, p, \alpha_0, k) = \sum_{m=1}^{m_1} \rho_m \left[\frac{1}{\psi} \iint \sigma^{+T}(\alpha_m) d\psi - \sigma^{+E}(\alpha_m) \right]^2, \quad (4)$$

де: ρ_m – ваговий множник, що враховує точність експериментальних даних, отриманих магнітопружним методом;

ψ – площа інтегрування;

α_m – координати перерізів, у яких використані експериментальні вимірювання.

Література

Із застосуванням запропонованого підходу проведено аналіз розподілу залишкових напружень у стиковому зварному з'єднанні кільцевим швом двох труб діаметром 1020 мм. Матеріал труб – сталь 17 Г1С. Товщина стінки – 10 мм. Експериментальне визначення напружень виконувалося магнітопружним методом. На рис. 3 наведено результати визначення розподілу залишкових напружень на внутрішній та зовнішній поверхнях досліджуваного трубного з'єднання.

Проведені дослідження засвідчили, що при застосуванні запропонованої математичної моделі і використуванні експериментальних даних, яка враховує вплив структурно-фазового складу зони термічного впливу зварного з'єднання, можна істотно підвищити точність визначення напружень. При цьому такий підхід дає змогу враховувати реальний стан експлуатації зварних стиків трубопроводів (зміну поля напружень внаслідок техногенного чи природного впливу) і на основі доступної експериментальної інформації відтворити повну картину поля напруженого стану зварного з'єднання у будь-якій його точці.

1. Подстригач Я.С., Осадчук В.А., Марголин А.М. Остаточные напряжения, длительная прочность и надежность стеклоконструкций. – К.: Наукова думка, 1991. – 296 с.

2. Фомичев С.К., Минаков С.Н., Данильчик А.В., Татарников В.Г., Яременко М.А. Измеритель механических напряжений серии MESTR – 41x // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1998. – № 1 – С. 58 – 60.

3. Банахевич Ю.В., Юськів В. М., Дзюбик А.Р. Дослідження напруженого стану в зварних з'єднаннях труб із врахуванням структурних змін // Науковий вісник національного технічного університету нафти і газу. – 2003. – С. 16-20.

4. Палаш В.М., Юськів В.М., Дзюбик А.Р. Напруження у трубах, з'єднаних зварним кільцевим швом // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2000. – № 4. – С. 95-99.

5. Осадчук В., Большаков М., Палаш В. Неруйнівний метод визначення залишкових напружень у зварних оболонках // Машинознавство. – 1997. – №1. – С. 5-9.

6. Дзюбик А.Р. Визначення напруженого стану кільцевих зварних з'єднань магістральних трубопроводів // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль: ТДТУ ім. І. Пулюя. – 2000. – Т. 5. – № 3. – С. 19-23.

УДК 622.24.051

ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ШАРОШКОВИХ ДОЛІТ НА ВИБОЇ

¹О.Т.Драганчук, ²В.А.Корнута

¹ ДК "Укртрансгаз", 01021, м. Київ, Кловський узвіз, 9/1, тел. (044) 2209177,
e-mail: utg@ugp.viaduk.net

² ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 45369,
e-mail: public@ifdtung.if.ua

Дан обзор основных современных подходов к проблеме моделирования работы шарошечных долот, используя которые можно определять начальные данные для проектирования инструмента, предназначенного для работы в определенных заказчиком условиях и/или проверять пригодность существующих конструкций для работы в заданных условиях; определять направления модернизации конструкций для достижения поставленных целей. Определены пути дальнейшего развития моделей долот для решения поставленных в статье задач усовершенствования.*

The paper is review of state-of-the-art problems of modelling drilling process for roller-cone drill bit. Models, described at this article, allow to determine initial data for bit design, when a customer defined the well conditions, or/and allow to verify existent constructions of drill bits for usage at the defined well conditions. Authors have already described the way for roller cone bits drilling process models evolution for the solution of the problems, formulated at this article.

Буріння свердловин — технологічний процес, який займає ключове значення у розвідці родовищ переважної більшості корисних копалин. Одні з найважливіших видів енергоносіїв та сировини хімічної промисловості – нафта та газ – добуваються лише шляхом розробки родо-

вищ з використанням свердловин. Тому проблеми вдосконалення процесу буріння, зниження його собівартості, енерго- та металоємності, впливу на навколишнє середовище залишаються в центрі уваги багатьох дослідників.