

ядра потоку $R_{Г0} = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, середня швидкість витікання розчину із насадка $v = 5,23 \text{ м/с}$, а об'ємний вміст повітря в ньому становить приблизно 2% ($k_{V2} = 0,019$).

Таким чином, даний приклад демонструє, що насадок є важливим елементом дегазатора, який може виконувати ефективну функцію руйнування структури і дегазації промивної рідини.

1 Шищенко Р.И., Есьман Б.И., Кондратенко П.И. Гидравлика промывочных жидкостей. - М.: Недра, 1976. - 293 с.

2 Буріння свердловин: Довідник. У 5т. М.А. Мислюк, І.Й. Рибчич, Р.С. Яремійчук. - К.: Інтерпрес ЛТД, 2002. - Т.2.: Промивання свердловин. Відробка доліт. - 303с.

УДК 669.018

ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ ПЛАСТИЧНО ДЕФОРМОВАНОЇ ТРУБНОЇ СТАЛІ 17Г1С

Д.Ю.Петрина

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 43024,
e-mail: public@nung.edu.ua

Материалы трубопроводов часто подвергаются пластической деформации, которая определенным образом влияет на их надежность. Величина этого влияния зависит от степени предварительной пластической деформации.

Показано влияние предварительной пластической деформации на трещиностойкость трубной стали 17Г1С при однократной и циклической нагрузках.

The materials of pipeline are often subjected to plastic deformation, that affects on its reliability. The value of this effect depends on the degree of plastic predeformation.

The effects of plastic predeformation on crack grows resistance of pipe steel 17Г1С under static and cyclic loading are investigated in this research.

Стабільність роботи трубопроводу залежить від його технічного стану. Вивчення технічного стану трубопроводів являє собою комплекс досліджень, одним із основних завдань яких є збір і аналіз даних з вивчення фактичного стану металу труби [1]. Випадки перенапружень труб внаслідок переміщень оточуючого ґрунту в зонах зсуву, надмірного згину труби в ході укладальних робіт, випинання недостатньо закріплених ділянок трубопроводів тощо є причинами утворення пластично деформованих зон в трубопроводі, які, як правило, переростають в тріщиновидні дефекти. Останні під дією експлуатаційних чинників можуть розвиватися і призводити до аварійних ситуацій. Це створює перешкоди під час транспортування газу та екологічну небезпеку на великих територіях. Тому дослідження тріщиностійкості пластично деформованої трубної сталі 17Г1С, яка широко використовується у вітчизняних трубопроводах, має як наукову актуальність, так і народногосподарське значення.

Під час експериментів використовували зразки, вирізані з труби діаметром 1020 мм і товщиною стінки 12 мм таким чином, щоби напрям поширення тріщини співпадав з напрямком прокатки. Після цього вони проходили нормалізацію за температури 1195К. Деформацію здійснювали в холодному стані на лабораторному прокатному стані ДУО-150 зі швидкістю прокатки $V = 5 \text{ м/хв}$.

Ступінь пластичної деформації визначали за формулою

$$\varepsilon = \frac{H - h}{H} \cdot 100\%,$$

де: H – висота заготовки; h – висота зразка після прокатки.

Випробовування на розтяг проводили на універсальній випробувальній машині УМ-5А зі швидкістю деформації 0,06 мм/с. Згідно [2] ударну в'язкість трубних сталей оцінювали за КСВ, використовуючи результати ударних випробовувань зразків на маятниковому копрі МК-30.

Статичну тріщиностійкість оцінювали за результатами випробовувань балкових зразків прямокутного перерізу з односторонньою тріщиною, використовуючи схему чотириточково-го згину [3].

Випробовування на циклічну тріщиностійкість сталей проводили на установках із жорстким типом навантаження, використовуючи призматичні зразки у вигляді балки з одностороннім бічним надрізом. Навантаження здійснювалось за віднульовим циклом і частотою 10 Гц. Оцінювання циклічної тріщиностійкості проводили відповідно з РД 50-345-82 [4].

Механічні властивості сталі 17Г1С наведено в таблиці 1.

З представлених в таблиці даних видно, що зі зростанням попередньої пластичної деформації відбувається інтенсивне збільшення параметрів міцності $\sigma_{0,2}$ і σ_B і спад параметрів пластичності δ і ψ . За значень $e_{nc} = 25\%$ величина

Таблиця 1 – Вплив попередньої пластичної деформації стиском на механічні властивості сталі 17Г1С

ϵ_{nc}	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %
0	425	600	26,0	78
5	540	712	20,5	67
10	670	800	16,0	57
15	758	880	12,0	50
20	821	922	8,5	45
25	884	930	5,1	42
30	890	933	5,0	40

$\sigma_{0,2}$ зростає порівняно з вихідним станом матеріалу більш як удвічі, а σ_B – більш як у 1,5 рази. Зазначимо, що в зв'язку з більш інтенсивним зростанням $\sigma_{0,2}$ порівняно з σ_B різниця між $\sigma_{0,2}$ і σ_B ($\sigma_B - \sigma_{0,2}$) постійно зменшується. Так, у вихідному стані вона становила 175 МПа, а за $\epsilon_{nc} = 30\%$ – 43 МПа.

Найбільш суттєвих змін зазнав параметр відносного видовження δ , який із зростанням попередньої пластичної деформації до 30% зменшився більш як у п'ять разів (від 26% до 5%). Відчув спад і параметр ψ , однак він не такий інтенсивний (від 78% до 40%).

Результати випробовувань на ударну в'язкість (за Шарпі) зображені на рис. 1. Із збільшенням величини попередньої пластичної деформації крутизна кривих холодноламкості спадає. Це відбувається за рахунок зменшення перепону робіт за повністю в'язких і крихких руйнувань і внаслідок розширення інтервалу перехідних температур. Верхній та нижній порогові холодноламкості зсуваються в бік більш високих температур випробовувань. Однак зміщення верхнього порогового холодноламкості більш суттєве, ніж нижнього (рис. 2). За рахунок цього відбувається розширення інтервалу перехідних температур.

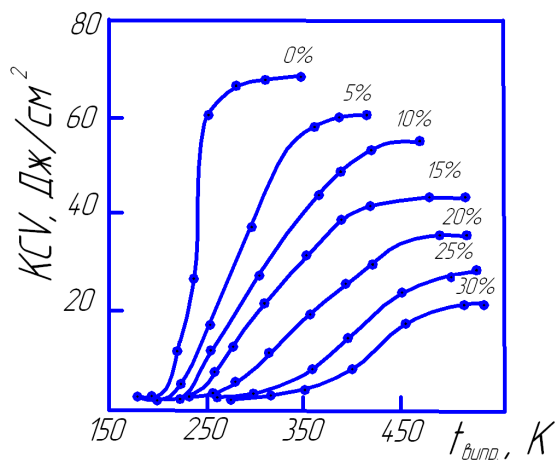


Рисунок 1 – Залежність ударної в'язкості деформованої сталі 17Г1С (цифри біля кривих – значення ϵ_{nc}) від температури випробовувань

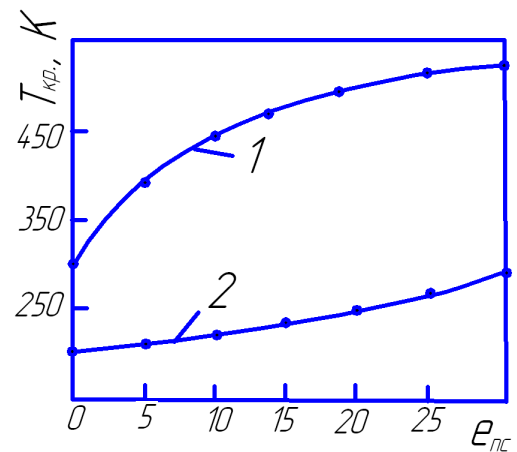
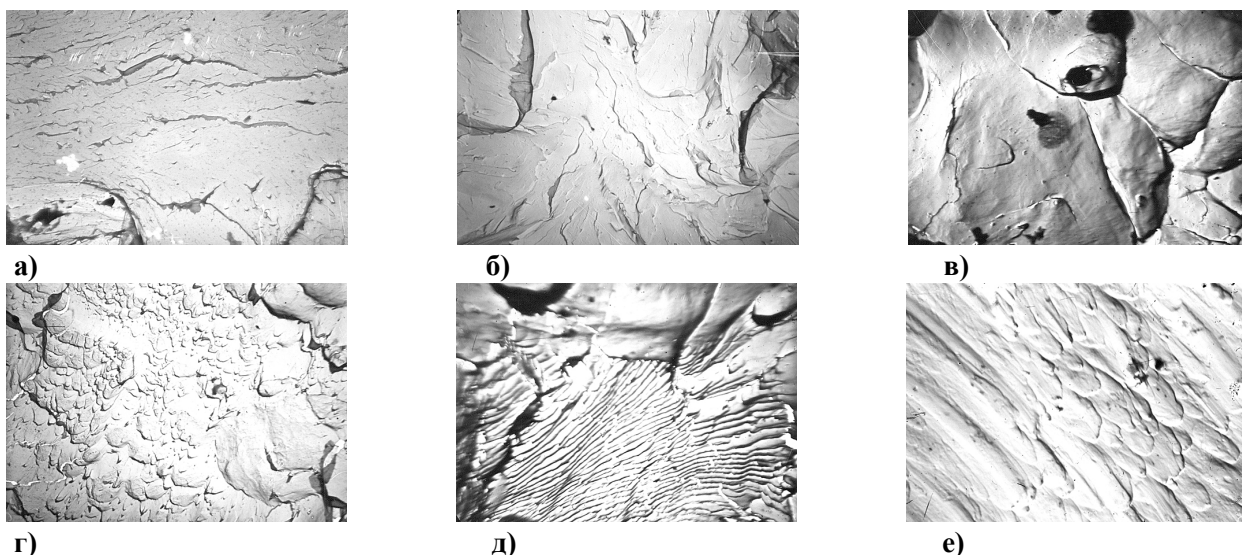


Рисунок 2 – Залежності критичних температур верхнього (1) і нижнього (2) порогів холодноламкості від величини попередньої пластичної деформації

Критичні температури верхнього ($T_{кр}^B$) та нижнього ($T_{кр}^H$) порогів холодноламкості визначали за допомогою електроннофрактографічного аналізу. За температур $T \geq T_{кр}^B$ злами мають мікрів'язкий характер, якому відповідають гладкі ділянки в'язкого розшарування та ямкові утворення (димпли). Крихкі мікроутворення мають місце в зламах, коли температури випробовувань становлять $T \leq T_{кр}^H$. До них належать відкольні фасетки, які можуть мати як інтеркристалітний, так і транскристалітний характер. В інтервалі перехідних температур $T_{кр}^H < T < T_{кр}^B$ ділянки зламу мають змішаний характер. За температур близьких до $T_{кр}^H$ в зламах переважають крихкі мікроутворення з наявністю невеликих зон в'язких мікроутворень. З підвищенням температур випробовувань площа в'язких мікроутворень у зламах зростає, а крихких – спадає.

У випадку допорогового крихкого руйнування нормалізованої сталі 17Г1С в ударних зламах переважають типові відкольні фасетки (рис. 3 а, б). Поширення тріщини в феритних зернах (рис. 3 а) і в перліті (рис. 3 б) має певні відмінності. Спостерігається розмірна відповідність фасеток відколу з величиною феритних зерен, через які поширюється тріщина (рис. 3 а). Поширення крихкого руйнування в перліті, на відміну від феритних зерен, утруднене. Це пов'язано з наявністю регулярно розміщених перепон у вигляді пластин цементиту (рис. 3 б).

За в'язкого руйнування сталей на поверхні зламів утворюються чітко виражені димпли різних розмірів (рис. 3 в, г, д, е). Коалісценція мікропустот на ділянках, які переважають в структурі феритних зерен, сприяє утворенню димплів великих розмірів (рис. 3 в). Утворення димплів малих розмірів спостерігали у випадку поширення в'язкої тріщини через перліт (рис. 3 г).



а, б – крихке руйнування; в, г, д, е – в'язке руйнування. Масштаб $\times 4700$

Рисунок 3 – Електронні фактограми зламів ударних зразків із нормалізованої сталі 17Г1С

Під час руйнування перліту траплялися випадки утворення великих димплів. Однак вони мали характерну інфраструктуру, яка відображала структуру наявних в перліті пластин фериту та цементиту, які почергово змінювалися (рис. 3 д).

У сталей з високим рівнем попередньої пластичної деформації ($\epsilon_{\text{пс}} = 30\%$) димпли в області в'язкого руйнування мають квазівідкольний незавершений характер (рис. 3 е), обумовлений вичерпанням пластичності матриці, а також густо розміщеними в ній бар'єрами, що утворились внаслідок руху дислокацій за попереднього пластичного деформування. У таких матеріалів якісно змінюється механізм утворення димплів. Це пояснює невисокий рівень енергетичних затрат при коалісценції мікропустот в сталях з високим рівнем попередньої пластичної деформації.

Більш повну картину процесу переходу сталі в крихкий стан можемо отримати за допомогою складових ударної в'язкості [5]. Зміну ударної в'язкості та її складових залежно від температури випробувань вивчали на зразках, які не проходили попередньої пластичної деформації ($\epsilon_{\text{пс}} = 0\%$), та зразках, які піддавалися максимальній пластичній деформації ($\epsilon_{\text{пс}} = 30\%$). З рис. 4 видно, що перехід до випробувань зразків з більш гострим концентратором (нанесеною втомною тріщиною) різко зміщує нижню температуру холодноламкості в бік вищих значень, звужуючи при цьому діапазон температур крихко-в'язкого переходу. При руйнуванні зразка, який пройшов максимальну попередню пластичну деформацію ($\epsilon_{\text{пс}} = 30\%$), величину роботи з поширення тріщини стає практично рівна нулю, тому ударна в'язкість визначається повністю роботою зародження тріщини. Натомість для недеформованого зразка робота поширення тріщини a_c^0 відіграє вирішальну роль у визначенні величини ударної в'язкості KCV в області в'язких руйнувань.

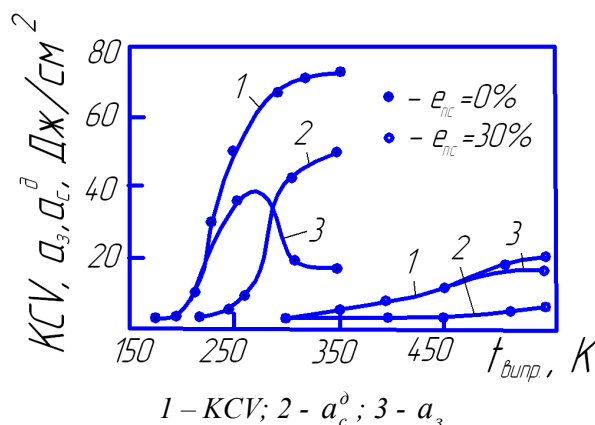


Рисунок 4 – Залежності ударної в'язкості та її складових сталі 17Г1С від температури випробувань

Отже, 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.

Крім того, в роботі [6] показано, що за ступенів деформації 25% і вище, через розтріскування карбідних частин відбувається посилене утворення мікротріщин, що призводить до зменшення величини роботи руйнування.

З метою оцінки залежності в'язкості руйнування K_{IC} сталі 17Г1С від величини попереднього пластичного деформування випробування проводили за температури $T_{\text{випр}} = 233\text{K}$, оскільки кімнатна температура не забезпечувала під час руйнування разків реалізації плоскодеформованого стану.

Дана залежність має екстремальний характер (рис. 5). Спочатку спостерігали зростання K_{IC} . Свого максимального значення він досяг за $\epsilon_{\text{пс}} = 10\%$. Зростання K_{IC} порівняно з його вихідним значенням становило $\sim 35\%$. У разі пода-

льшого збільшення величини попереднього пластичного деформування значення K_{IC} спало і за $e_{nc} = 25\%$ досягло знову рівня недеформованого матеріалу, а за $e_{nc} = 30\%$ стало ще нижчим. Така поведінка K_{IC} пояснюється тим, що за низького рівня $\sigma_{0,2}$ високопластичний матеріал має малу міцність і тріщина починає рухатися при невисоких навантаженнях. При підвищених значеннях $\sigma_{0,2}$ матеріал має низьку пластичність, що сприяє крихкому поширенню тріщини. Тому максимальну статичну тріщиностійкість матеріал має тільки за певного оптимального поєднання міцності та пластичності. Оскільки з ростом величини попередньої пластичної деформації значення $\sigma_{0,2}$ сталі 17Г1С неперервно зростає (див. таблицю), то й маємо екстремальну залежність K_{IC} .

На рис. 6 зображено результати випробувань на циклічну тріщиностійкість. Залежно від ступеня попередньої пластичної деформації зміна швидкості росту втомної тріщини V має екстремальний характер з мінімумом, положення якого залежить від розмаху коефіцієнта інтенсивності напружень ΔK . Зі зростанням величини ΔK мінімум V зміщується в бік менших значень ступенів попередньої пластичної деформації. Такий характер зміни циклічної тріщиностійкості обумовлений тим, що за різних величин ΔK різноманітні властивості матеріалів є визначальними під час формування рівня циклічної тріщиностійкості.

За низьких значень ΔK запас в'язкості сталі є таким, що запобігає крихким проскакуванням тріщини. З підвищенням міцності циклічна тріщиностійкість сталі зростає. В першу чергу, це відбувається за рахунок зменшення швидкості окрихлення в зоні циклічної пластичної деформації. Потрібно також враховувати, що збільшення ступеня попередньої пластичної деформації призводить до роздріблення структури зламу, при цьому зменшуються крок боріздок і, як наслідок, швидкість росту тріщини.

За високих значень ΔK рівень в'язкості матеріалу починає чинити суттєвий вплив на циклічну тріщиностійкість. Починаючи з $e_{nc} = 25\%$, запас в'язкості стає недостатнім для виключення крихких мікрострибків тріщини. У зв'язку з цим збільшується частка ділянок, руйнування яких відбувається за механізмом, характерним для однократного руйнування. Це зумовлює підвищення темпу наростання швидкості поширення тріщини.

Підвищення ступеня пластичної деформації до $e = 30\%$ знижує циклічну тріщиностійкість сталі 17Г1С, наближаючи її до значень вихідного недеформованого матеріалу. В'язкості такої сталі не вистачає вже за низьких значень ΔK . Через підвищену частку крихких ділянок на поверхні зламу швидкість поширення втомної тріщини в ній висока.

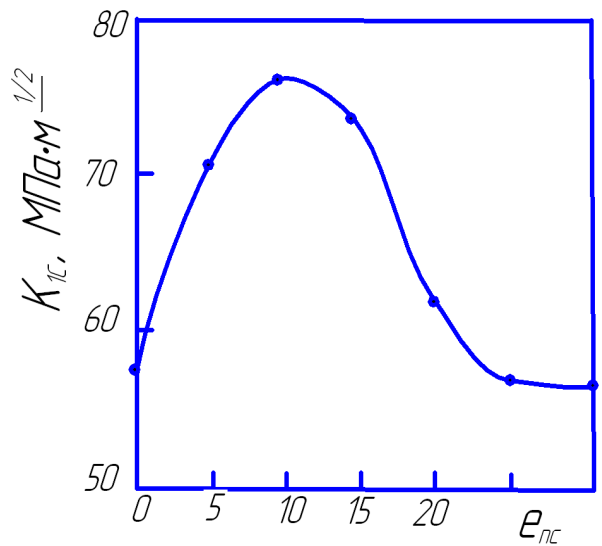
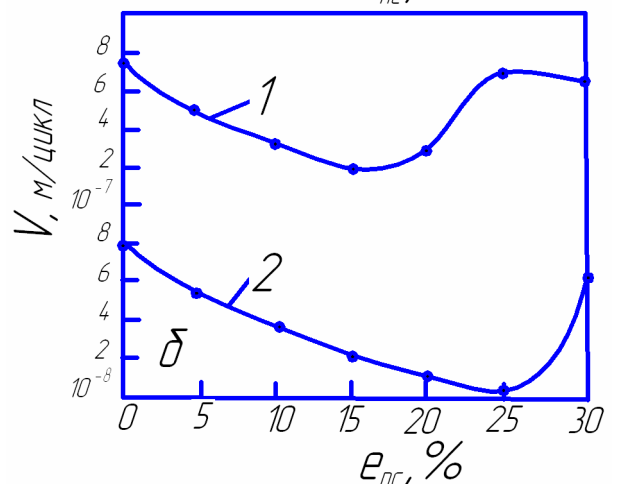
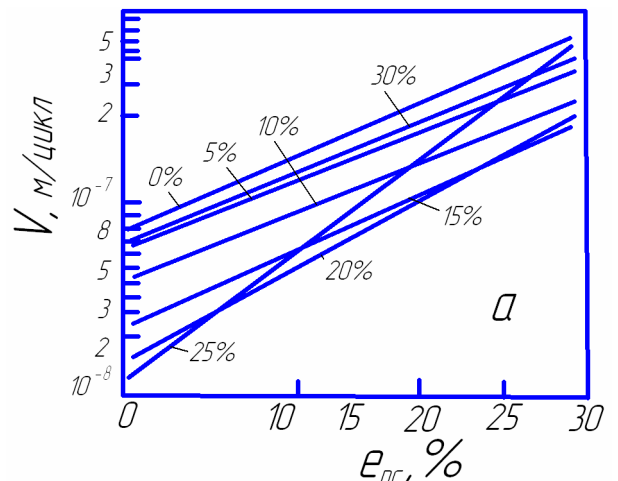


Рисунок 5 – Залежність в'язкості руйнування K_{IC} сталі 17Г1С від величини попереднього пластичного деформування



а – залежності $V - \Delta K$ (цифри - значення e_{nc});
б – залежності $V - e_{nc}$ за $\Delta K = 35$ (1) і $23 \text{ MPa}\sqrt{\text{м}}$ (2).

Рисунок 6 – Циклічна тріщиностійкість сталі 17Г1С

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.Гриців

*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