

# БУРІННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

УДК 622. 245

## ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ В КНБК ОБТ ЗМІННОЇ ЖОРСТКОСТІ

М.Є.Сімків, Б.О.Чернов

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 48090

e-mail: physics@nuing.edu.ua

*Підвищення експлуатаційних характеристик бурильних колон у процесі будівництва нафтових і газових свердловин можливе лише за рахунок підвищення витривалості її елементів та удосконалення компоновки низу бурильної колони. Запропоновано конструкції обважнених бурильних труб змінної жорсткості, які забезпечують зниження напруження в перехідній зоні від БТ до ОБТ, локалізацію енергії на вибої, підвищення довговічності елементів бурильної колони при бурінні свердловини.*

*Повышение эксплуатационных характеристик бурильных колон при строительстве нефтяных и газовых скважин возможно за счет повышения прочности ее элементов и усовершенствования компоновки низа бурильной колонны. Разработаны конструкции утяжеленных бурильных труб переменной жесткости, обеспечивающие снижение напряжений в переходной зоне от бурильной колонны к утяжеленным бурильным трубам за счет плавного изменения жесткости, локализацию энергии на выбое, повышение долговечности элементов бурильной колонны при бурении скважин.*

*Improving of drilling pipes working characteristics during oil and gas wells construction is possible owing to the increase of its elements durability and improvement of the bottom drill pipes assembling. Constructions of variable stiffness drill collars providing tension reduction in the transfer zone from drill pipes to drill collars, energy localization at well bottom, increasing drill pipe elements durability, gradual stiffness changing in the process of horizontal well drilling are developed.*

Головним завданням, яке поставлене перед Україною є забезпечення держави енергоносіями, в тому числі і за рахунок підвищення видобутку нафти і газу з власних запасів. Вирішення цих питань не може бути досягнуте без збільшення об'єму бурових робіт та підвищення темпів і якості будівництва свердловин, розробки та впровадження нових технологій.

В процесі будівництва нафтових і газових свердловин на бурильну колону діє цілий комплекс постійних та знакозмінних навантажень, сукупна дія яких призводить до виникнення значних напружень, накопичення втомних тріщин і, в кінцевому результаті, до втомного руйнування елементів бурильної колони.

Для створення потрібної осьової сили на долоті та надання більшої жорсткості низу компоновки застосовують обважені бурильні труби, кількість і розміри яких залежать від конструктивних і технологічних характеристик свердловини. Обважені бурильні труби (ОБТ), що випускаються серійно (ТУ 39-076-74), мають постійний осьовий момент інерції попе-

речного перерізу, оскільки їх зовнішній та внутрішній діаметри залишаються незмінними [1].

При збиранні свічок в колону для з'єднання секцій труб різних типорозмірів в країнах СНД звичайно використовують перехідники довжиною 0,3–0,7 м Ш. В таких конструкціях за рахунок різкої зміни жорсткості при переході від бурильних до обважнених бурильних труб значно зростають напруження, які скорочують період до критичного росту втомних тріщин.

В США згідно з рекомендаціями АРІА, при збиранні компоновки замість перехідника використовують проміжну важку трубу 121, що складається з трьох ділянок. Середня частина з потовщеною в порівнянні зі звичайними трубами стінкою має довжину 6 м. До її висаджених кінців приварено в стик дві товстостінні ділянки: нижня довжиною 0,6 м і верхня з проточкою під елеватор і довжиною до 2,4 м. Товщина стінок нижньої і верхньої частини труби однакова. Така проміжна труба більш плавно вписується в профіль свердловини, але повністю

проблеми не вирішуються, оскільки незначно знижує концентрацію напружень в зоні, що безпосередньо примикає до ОБТ.

На основі статистичного аналізу роботи існуючих бурильних та обважених бурильних труб, теоретичних і експериментальних досліджень нами розроблено конструкції обважених бурильних труб змінної жорсткості (ОБТЗЖ) [3, 4], застосування яких забезпечує зниження напружень в перехідній зоні від бурильних труб до ОБТ, підвищення стійкості і надійності бурильної колони, полегшення спуско-підіймальних операцій і ловильних робіт.

Запропоновані конструкції труб зображені на рис. 1 ОБТЗЖ включає розміщені по кінцях замкові різьбові ділянки: ніпельну та муфтову. Тіло трьохступінчастих обважених бурильних труб (рис. 1, б) утворене трьома ділянками з різними зовнішніми діаметрами  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  відповідно. Максимальний момент інерції поперечного перерізу  $I_1$  труба має в нижній частині, з'єднаній в експлуатаційних умовах з секцією ОБТ, а мінімальний момент інерції  $I_3$  – в верхній частині з'єднаній з бурильними трубами. Момент інерції поперечного перерізу кожної наступної ділянки ОБТЗЖ, рахуючи від вибою, зменшується на 25-30 %.

В конструкціях ОБТЗЖ експоненціальної форми (рис. 1, а) зміна зовнішнього діаметра труб від ніпельної до муфтової частини змінюється за залежністю

$$D(l) = 2e^{kx+\beta}, \quad (1)$$

де:  $D$  – зовнішній діаметр труби;  
 $x$  – координата зміни поперечного перерізу труби з початком відліку від ніпеля;  
 $\alpha$  та  $\beta$  – константи.

Сталі  $\alpha$  та  $\beta$  – визначаються формулами

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{D_1}{D_2}\right)}{L}; \quad (2)$$

$$\beta = \ln\left(\frac{D_2}{2}\right), \quad (3)$$

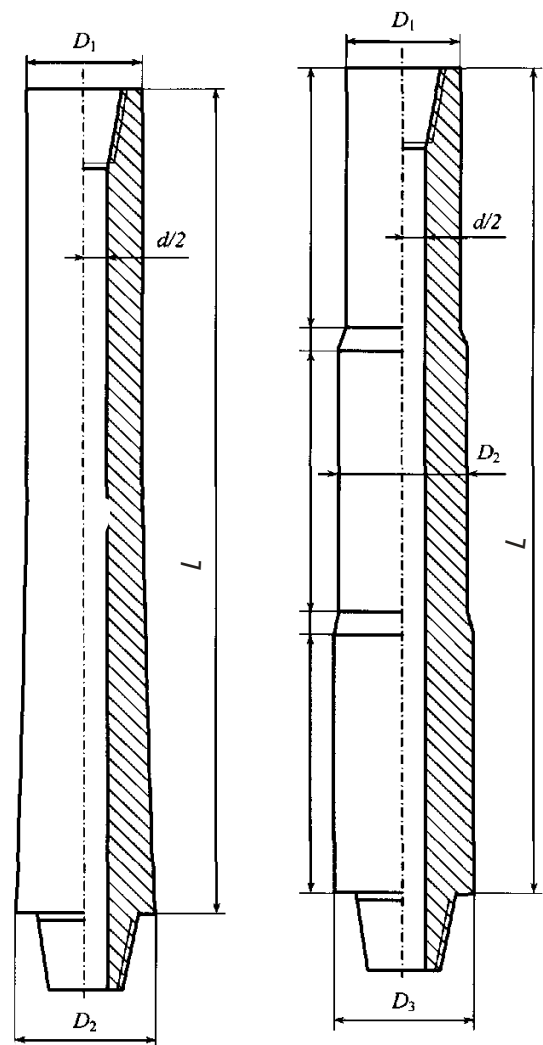
де:  $D_1$  і  $D_2$  – відповідно максимальний і мінімальний зовнішній діаметри труби;

$L$  – довжина корпусу труби.

При збиранні свічки з пропонованих труб по її довжині утворюються уступи, які використовуються для кріплення в елеваторі при спуско-підіймальних операціях.

В процесі роботи колони бурильних труб в місці установки ОБТЗЖ забезпечується плавна зміна жорсткості від важкого низу до бурильних труб, пов'язана з поступовим зменшенням діаметрів ділянок пропонованої конструкції.

У випадку прихоплення низу бурильної колони не прихоплену частину відкручують по верхньому різьбовому з'єднанню свічки. Оскільки верхня ділянка ОБТЗЖ має менший порівняно з ОБТ діаметр, то з'являється додаткова можливість розміщення ловильних засобів з зовнішньої сторони труби в зазорі, утвореному зі стінкою свердловини.



а) одноступінчаста конструкція експоненціальної форми;  
 б) триступінчаста конструкція

Рисунок 1 – Схематичні зображення обважених бурильних труб змінної жорсткості

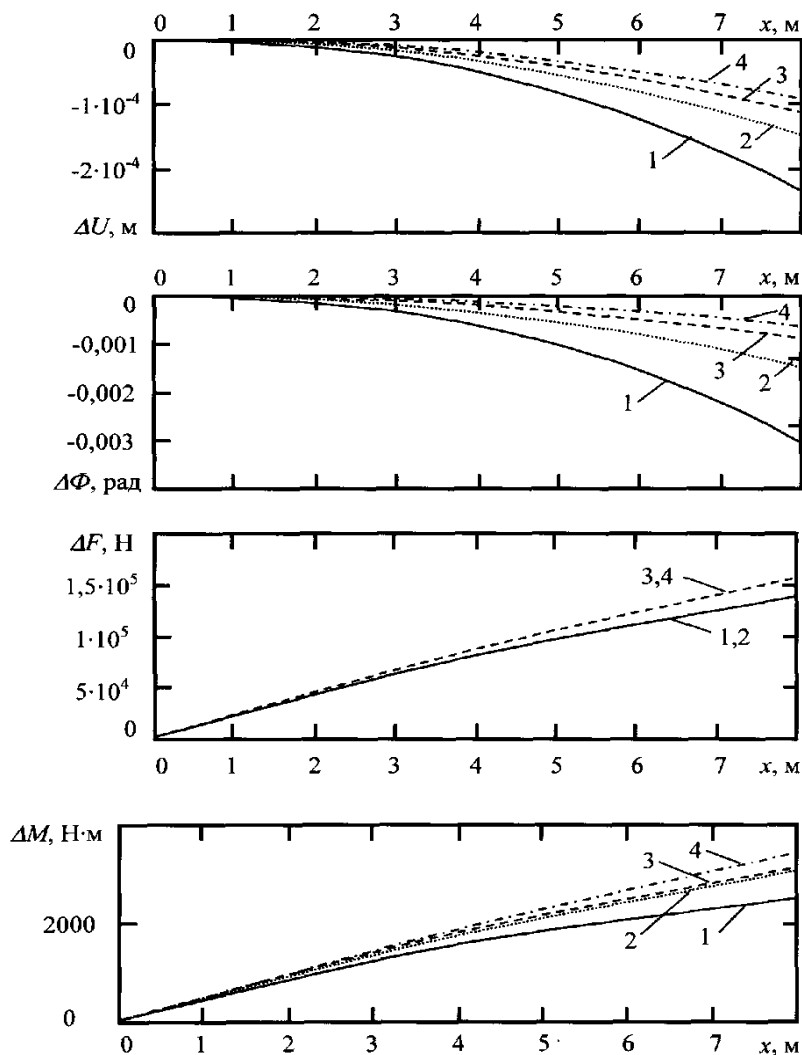
На основі розроблених математичних моделей роботи бурильної колони з ОБТЗЖ вивчався характер зміни напружень, їх допустимий рівень та оптимальні значення [5, 6].

Обважену бурильну трубу змінної жорсткості експоненціальної форми змінного перерізу з внутрішнім отвором постійного діаметра, пружна лінія якого перебуває під дією осьових і відцентрових сил, крутного моменту, тиску і промивальної рідини, що рухається.

Диференціальне рівняння поздовжніх коливань труби змінної жорсткості взято у вигляді [5]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ A(x)E \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right] = \rho A(x) \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} = \rho A(x)g - f(x,t), \quad (4)$$

де:  $u(x, t)$  – переміщення  $x$  – перерізу труби в момент часу  $t$ ;  $E$  – модуль пружності;  $\rho$  – густина матеріалу труби;  $g$  – прискорення земного тяжіння.



1 –  $F=2,5 \cdot 10^4 \text{ Н}$ ;  $H=0,5 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ; 2 –  $F=5 \cdot 10^4 \text{ Н}$ ;  $H=1,0 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ; 3 –  $F=10 \cdot 10^4 \text{ Н}$ ,  $H=1,5 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$

**Рисунок 2 – Зміна приростів динамічних характеристик  $\Delta U(x)$ ,  $\Delta F(x)$ ,  $\Delta \Phi(x)$ ,  $\Delta M(x)$  по довжині труби ОБТЗЖ П 178/203 при різних амплітудах збурень**

Розв'язуючи рівняння (4) з врахуванням граничних умов динамічні складові сили  $F(x, t)$  та крутного моменту  $\mu(x, t)$  в  $x$  – перерізі змінної жорсткості знаходимо за формулами:

$$F(x, t) = -A(x)E \frac{d\tilde{U}}{dx} e^{i\rho_0 t}, \quad (5)$$

$$\mu(x, t) = -I_0(x)G \frac{d\tilde{\phi}(x)}{dx} e^{ig_0 t}. \quad (6)$$

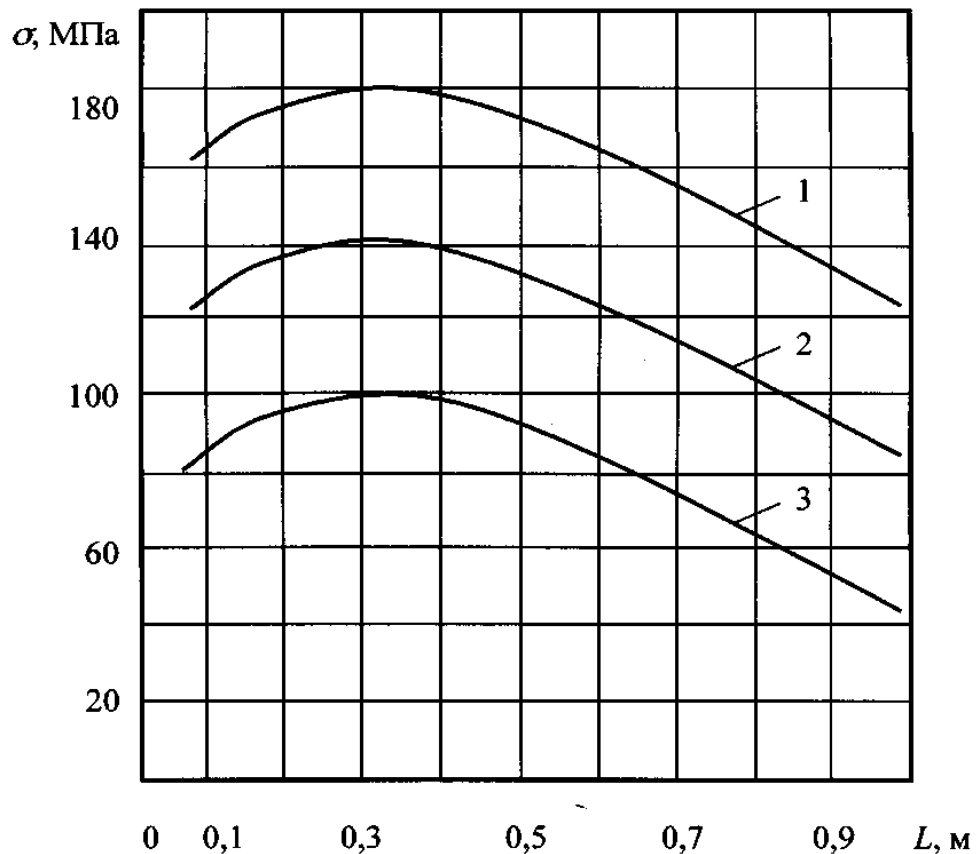
На підставі (5) та (6) розроблено програму, складено алгоритм і проведено розрахунки динамічних складових переміщень  $U(x)$  сил  $F(x)$ , кутів повороту  $\phi(x)$  і крутних моментів  $\mu(x)$  по довжині бурильної колони при різних КНБК.

Динамічні розрахунки ступінчастих компонентів свідчать про наявність різких перепадів динамічних складових сил і моментів в місцях переходу від труб одного типорозміру до іншого, що викликає в експлуатаційних умовах значну концентрацію напружень, внаслідок чого знижується опір з'єднувальних елементів компоновки знакозмінним навантаженням. Ха-

рактерні залежності зміни амплітуд динамічних складових переміщень  $\tilde{U}(x)$ , сил  $P(x)$ , кутів повороту  $\tilde{\phi}(x)$  і крутних моментів  $M(x)$  по довжині  $x$  бурильної колони подані на рис. 2.

Теоретичні розрахунки свідчать, що перехідні ділянки від труб одного типорозміру до іншого, набрані з ОБТЗЖ, спричиняють плавну зміну динамічних характеристик по довжині колони, що сприяє підвищенню її довговічності при бурінні свердловин роторним способом.

Для підтвердження результатів аналітичних досліджень закономірностей зміни напружень, які виникають в елементах бурильної колони при наявності ОБТЗЖ в КНБК, проведені експериментальні дослідження натурних зразків конструкцій ОБТ-178, ОБТ-203, ОБТЗЖ-178, ОБТЗЖ-203. Аналіз результатів експериментальних досліджень натурних зразків на опір втомі та втомного руйнування бурильних труб в процесі буріння свердловин роторним способом показав, що поломки відбуваються переважно на віддалі 0,4-0,6 м від торця замка.



1 – БТ-140хОБТ-203; 2 – БТ-140хОБТ-178; 3 – БТ-140хОБТЗЖ-178

Рисунок 3 – Розподіл нормальних напружень по тілу бурильної труби в перехідній зоні від бурильних труб (БТ) до ОБТ при  $M_{зг} = 90$  кН·м

Дослідження показали (рис. 3), що застосування ОБТЗЖ експоненціальної форми в місцях переходу від одного типорозміру до іншого призводить до зменшення напружень в замкових різбових з'єднань до 30% та до 60% в тілі бурильної труби, яка з'єднується з ОБТЗЖ.

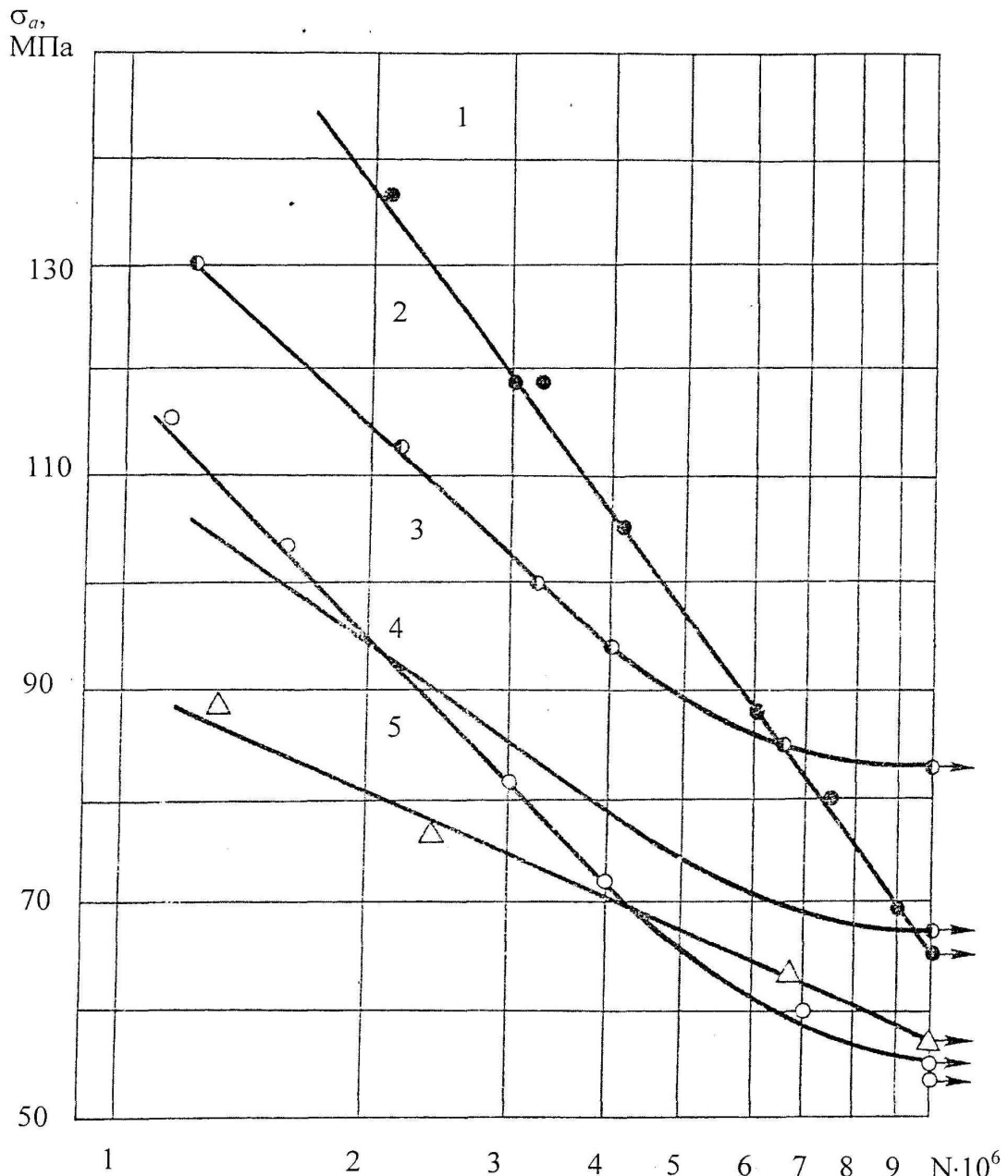
Для визначення границі витривалості елементів бурильної колони проведені експериментальні дослідження на опір втомі натурних зразків бурильних та обважнених бурильних труб в повітряному та корозійному середовищах [7, 8]. В якості корозійного середовища при дослідженні використовувався 7% водний розчин Na Cl. Така концентрація розчину Na Cl була вибрана на основі електрохімічних досліджень проведених в лабораторії різбових з'єднань ВНДБТ (м. Москва).

Оскільки на бурильні труби крім згинаючого моменту діють ще сили розтягу (вага бурильної колони), то авторами [8] на стенді СІТУР проведені дослідження впливу сил розтягу на опір втомі бурильних та легко сплавних бурильних труб.

Результати випробувань проведено на рис. 4. Дослідження показали, що в корозійному середовищі при відсутності розтягуючих зусиль умовна границя витривалості бурильних труб знижується до 28% (крива 1), а при накладанні сил розтягу  $P=106$  Н зменшується ще на 38-40% (крива 3).

Таким чином, умовна границя витривалості бурильних труб при сумісній дії корозійного середовища та сил розтягу (ваги бурильної колони) становить 42-50 МПа, що дещо нижче границі витривалості замкових різбових з'єднань ОБТ з зарізбовими розвантажувальними канавками (крива 3). З врахуванням того, що границю витривалості замкових різбових з'єднань можна підвищувати за рахунок конструктивних та технологічних факторів (поверхнево-пластична деформація, лазерна обробка, метод УЗО, різьба галтельного типу, та ін.) найслабкішим елементом колони є бурильна труба, що й підтверджується статистичним аналізом аварійності на бурових.

Одержані результати підтверджують доцільність широкого промислового використання обважнених бурильних труб змінної жорсткості, які забезпечать зменшення напружень в перехідній зоні від ОБТ до БТ, зниження рівня вібрацій бурильної колони, акумуляції енергії на вибої, підвищення стійкості бурильної колони, полегшення спуско-підіймальних та ловильних робіт і підвищення надійності бурильної колони загалом в процесі будівництва свердловин. Крім цього, на основі проведених досліджень, нами зроблено висновок про можливість набірання секцій ОБТ з труб змінної жорсткості при бурінні свердловин в небезпечних, з точки зору прихоплень, розрізах. Утворювані при



1 – БТ-140, 7% водний розчин; 2 – БТ-140, в повітрі; 3 – БТ-140, сила розтягу  $10^5$  Н;  
4 – УБТ-178/3-147 с ЗРК, в повітрі; 5 – УБТ-178, 7% водний розчин.

**Рисунок 4 – Результати дослідження на опір втрати з'єднань бурильних та обважнених труб**

цьому в КНБК перепади жорсткості дозволяють створювати пульсуючі зусилля, які сприяють попередженню прихопленя.

Більшість родовищ України знаходиться на пізній стадії розробки, які характеризуються, головним чином, пластами малої потужності та вертикальністю. Відповідно, одним з найефективніших шляхів вирішення проблем активізації розробки цих зон є буріння похило спрямованих та горизонтальних свердловин. Такі роботи виконані авторами [9] на свердловині № 155 Каганівського родовища, та на свердловині № 172 Південно-Панасівське родовища

(горизонтальний стовбур пробурено довжиною 150 м на глибині 2854 м).

В процесі буріння горизонтальних свердловин існуючі технології та компоновки бурильної колони часто призводять до ускладнень та аварій на ліквідацію яких затрачено значні кошти. В зв'язку з цим виникла необхідність в розробці нових технологій, устаткування та розробки нових компоновок низу бурильної колони, які б забезпечили високу ефективність при бурінні горизонтальних свердловин. Відповідно, використання в КНБК обважнених бурильних труб змінної жорсткості частково вирішить дану проблему.

**Література**

- 1 Йогансен К.В. Спутник буровика / К.В.Йогансен. – М., Недра, 1990. – 303 с.
- 2 Патент США № 4416476. Кл. 285-286, 1983.
- 3 А.с. 1629460 СССР, МКИ 21 В 17/00. Утяжеленная бурильная труба / Б.А. Чернов, Ю.В. Дубленич, Н.Д. Щербюк, А.И. Неструев., опубл.17.10.1986 г., с.4.
- 4 Пат. России № 041001, МПК 6 Е 218 17/00. Утяжеленная бурильная труба Чернов Б.А., Симкив М.Е., Мойсишин В.М., Чернов В.Б. – № 93041199103, Опуб. 25.01.97.
- 5 Сімків М.Є. Динаміка труб змінної жорсткості / М.Є.Сімків, В.М.Мойсишин, Б.О.Чернов. // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтогазопромислове обладнання. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1999. – Вип. 36 (том 4). – С.210-226.
- 6 Сімків М.Є. Підвищення ефективності буріння свердловин за рахунок вдосконалення елементів компоновки низу бурильної колони / Мирослава Євгенівна Сімків // Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук. – Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2005. – 1460.
- 7 Чернов Б.О. Влияние коррозионной среды на работоспособность резьбовых соединений / Б.О. Чернов, И.С. Бабюк // Нефтяная промышленность. Серия: Машины и нефтяное оборудование. – М.: ВНИИОЭНГ, 1987. – С. 180-181.
- 8 Чернов Б.О. Методи підвищення довговічності елементів бурильної колони при спорудженні нафтових і газових свердловин / Борис Олександрович Чернов // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. РМТЗ. – вип. 31. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 1995. – С. 114-117.
- 9 Матеріали доповідей 7-ої міжнародної науково-практичної конференції «Нафта і газ України» / [Я.В. Кунцяк, Г.Й. Бражина, К.В. Булатов, В.Д. Новіков, Р.Я. Кунцяк]. - Матеріали доповідей 7-ої міжнародної науково-практичної конференції «Нафта і газ України» - Київ, 2002. – № 1. – С. 352-353.

*Стаття постуила в редакційну колегію*  
11.03.09

*Рекомендована до друку професором*  
**Я. С. Коцкуlichem**