

**УДК 622.24.053**

**Копей Б.В., Гладкий С.І., Сичов Ю.С.**

**НАДІЙНІСТЬ ВИСОКОМІЦНИХ БУРИЛЬНИХ ТРУБ  
ПРИ БУРІННІ ГЛИБОКИХ СВЕРДЛОВИН**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти й газу,  
Івано-Франківськ, Карпатська15, 76019*

**Kopey B.V., Gladkiy S.I., Sychov Yu.S.**

**RELIABILITY OF HIGH STRENGTH DRILL PIPES DURING THE  
DRILLING OF DEEP WELLS**

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,  
Ivano-Frankivsk, Karpatska15, 76019*

*Проаналізовано параметри надійності високоміцних труб при бурінні глибоких свердловин з метою визначення закону розподілу наробітків до відмови. Отримані параметри закону розподілу Вейбула для труб американського та вітчизняного виробництва.*

*Ключові слова: буріння, труба бурильна, надійність, відмова, закон Вейбула*

*Проанализированы параметры надежности высокопрочных труб при бурении глубоких скважин с целью определения закона распределения наработок до отказа. Получены параметры закона распределения Вейбула для труб американского и отечественного производства.*

*Ключевые слова: бурение, труба бурильная, надежность, отказ, закон Вейбула*

*The reliability parameters of high strength drill pipes were analyzed during the drilling of deep wells to determine the operating time of the distribution to failure. Parameters of the Weibull distribution for pipes of US and domestic production were obtained.*

*Keywords: drilling, drill pipe, dependability, failure, Weibull law*

## **Вступ**

У зв'язку з неухильним ростом глибин і швидкостей буріння свердловин виникають нові більш складні проблеми підвищення міцності і економічної ефективності бурильних колон. При бурінні глибоких свердловин використовують високоміцні бурильні труби з приварними замками ТБПВ чи з стабілізуючими поясками типу ТБВК. Вони, як правило, виходять з ладу з причини розвитку тріщин втоми в тілі труби та обриву колони труб чи внаслідок зносу бурильного замка, який можна замінити на трубі ТБВК.

## **Стан проблеми та постановка задачі досліджень**

Актуальною проблемою сучасного машинобудування є забезпечення надійності машин. Надійність, у значній мірі, визначає ефективність роботи будь-якої механічної системи на протязі тривалого періоду часу, витрати енергетичних ресурсів, а також безпечність їх експлуатації.

На сучасному етапі функціонування економіки України характеризується низьким рівнем фінансування. Це є однією з причин того, що середній строк служби виробничого обладнання перевищує нормативний. Такий стан веде до значного зростання аварійних ситуацій, пов'язаних із втратою працездатності технічних об'єктів. До таких об'єктів високої небезпечності відноситься обладнання для буріння свердловин, зокрема бурильного інструменту (бурильних труб, бурильних замків, перевідників, ОБТ, доліт тощо).

Граничний стан бурильної колони, обумовлений зносом, характеризується певною граничною величиною основних геометричних розмірів її елементів (товщиною стінки, зовнішнім діаметром, висотою профілю різьби тощо), при яких окремі елементи або вся колона повинні бути зняті з експлуатації для запобігання поломок в результаті надмірного зношування.

Значно складніше встановити граничний стан бурильної колони і її елементів, який обумовлюється не зносом, а поломками, які викликаються, як правило, явищем втоми чи корозійної втоми. В цьому випадку граничним

станом бурильної колони необхідно рахувати стан, при якому ремонт колони, викликаний її поломками, стає економічно недоцільним.

Всі відмови бурильної колони умовно можна розділити на дві групи – раптові і поступові. Такий розподіл відмов достатньо повно відповідає фізичній суті явища відмов і найбільш зручний для оцінювання надійності бурильних колон.

Поступові відмови в основному пов'язані із зношуванням, яке як правило, протікає повільно і не тягне за собою несподіваного руйнування. Виключення становлять відмови, які викликані заїданням різьб. Ці відмови виникають несподівано, але оскільки не призводять до обриву колони, їх доцільно віднести до групи поступових. Найбільш часті видами поступових відмов є відмови муфт, труб і замків внаслідок зношування зовнішньої поверхні, відмови замків у результаті зносу і заїдання замкової різьби.

До раптових відносять всі відмови, що призводять до обриву бурильних колон муфтово-замкового з'єднання, тобто ті що стаються і виявляються у свердловині в процесі буріння. В існуючій конструкції бурильної колони найбільш часто такі відмови виникають в результаті втомних поломок по різьбі та тілу бурильних труб. Рідше зустрічаються випадки раптових відмов в результаті крихкого руйнування бурильної труби.

Основною особливістю раптових відмов є те, що виникаючи у свердловині, вони тягнуть за собою значні витрати часу, пов'язані з їх виявленням і здійсненням ремонту (ліквідацією обриву). Нерідко такі відмови призводять до аварій, на ліквідацію яких витрачаються місяці, а в деяких випадках стає неможливим подальше буріння свердловини.

Тому проведення досліджень з визначення надійності бурильних колон, прогнозування ресурсу їх роботи, особливо при бурінні глибоких свердловин, є актуальними.

В літературі практично немає даних стосовно параметрів надійності високоміцних бурильних труб з приварними замками ТБПВ чи із стабілізуючими поясками типу ТБВК. Тому необхідно провести статистичний

аналіз наробітків цих труб і намітити шляхи визначення періодів неруйнівного контролю з метою зменшення відмов труб при бурінні свердловин.

### Шляхи вирішення

За результатами експлуатаційних спостережень за відмовами високоміцних бурильних труб американського виробництва Ø89 мм зі сталі S-135 встановлений теоретичний закон розподілу випадкової величини на відмову [1]. Під спостереженням знаходилось 13 комплектів труб.

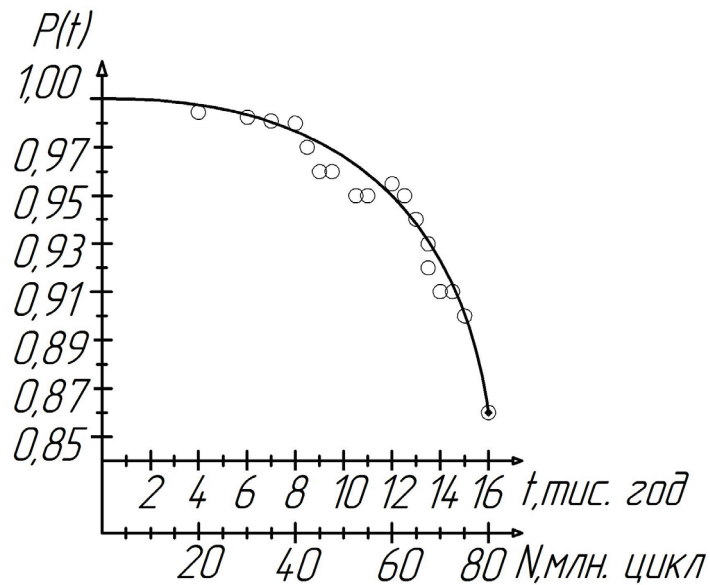
В результаті спостереження за роботою комплектів бурових труб отримані дані про наробітки до відмови, які наведені в таблиці 1. Результати аналізу їх надійності наведені на рис. 1.

Таблиця 1

Характеристики надійності бурильних труб [1].

N п/п	$\beta$	P(t)	t, тис.год	N, млн. цикл.
1	2,5	0,995	4,0	19,2
2		0,993	6,0	28,8
3		0,992	7,0	33,6
4		0,99	8,0	38,4
5		0,98	8,5	40,8
6		0,97	9,0	43,2
7		0,97	9,5	45,6
8		0,96	10,5	50,4
9		0,96	11,0	52,8
10		0,965	12,0	57,6
11		0,96	12,5	60,0
12		0,95	13,0	62,4
13	7,0	0,94	13,5	64,8
14		0,93	13,5	64,8
15		0,92	14,0	67,2
16		0,92	14,5	69,6
17		0,91	15,0	72,0
18		0,87	16,0	78,8

Розрахунки параметрів закону розподілу вели за допомогою комп'ютерної програми, яка наведена в [2].



**Рис. 1. Результати аналізу ймовірності безвідмовної роботи бурильних труб від часу наробітку та числа циклів навантаження при обертанні колони**

Закон розподілу Вейбула характеризується наступною залежністю:

$$P(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}, \quad (1)$$

де  $P(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи виробу,

$t$  – час до відмови,

$\eta, \beta$  – параметри масштабу та форми відповідно.

Значення заданого рівня ймовірності безвідмовної роботи (0,99) комплекту бурильних труб відповідає наробітку близько 8 тис. годин. При наробітку 16 тис. годин загальна ймовірність рівна 0,87, що допустимо для проведення процесу буріння свердловини.

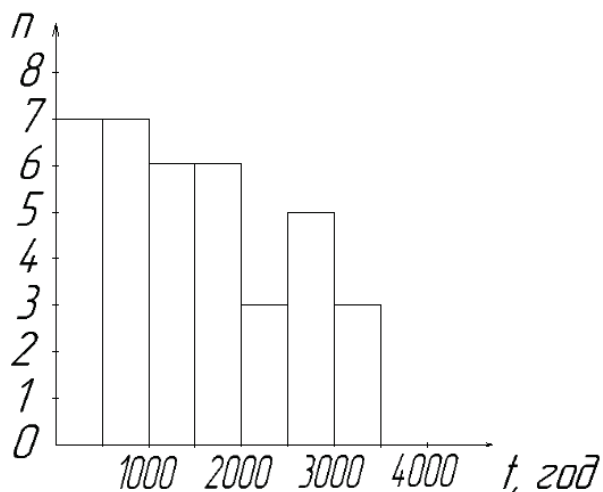
На основі цього рекомендується для труб такого типу кожні 2 тис. годин або 10 млн. циклів проводити діагностувальні роботи із виявлення дефектів, особливу увагу приділяти тілу труб та різьбам.

Надійність високоміцних бурильних труб із стабілізуючими поясками типу ТБВК діаметром 140 мм групи міцності Л аналізували на основі їх відпрацювання в промислових умовах. Під спостереженням знаходилось 17 комплектів труб, які працювали на бурових Прикарпаття в різні роки (1990 – 2016). Побудована гістограма наробітків труб в промислових умовах (рис.2) та

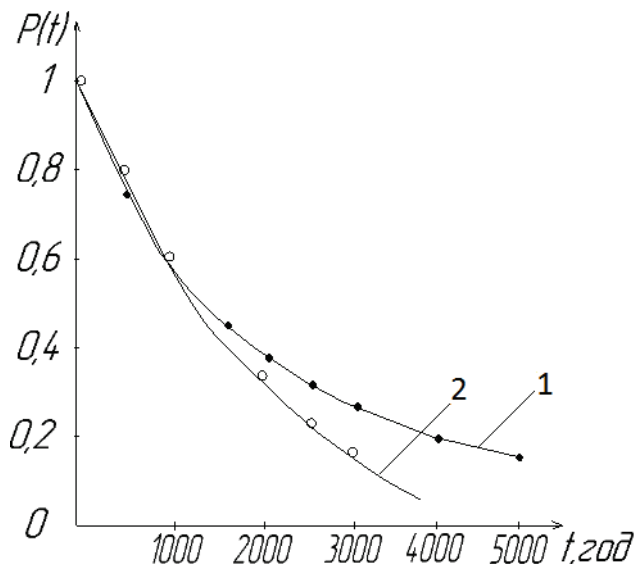
побудовані теоретична та статистична криві ймовірності їх безвідмовної роботи (рис.3).

На основі розрахунків визначили параметри  $\beta$  і  $\eta$  закону розподілу Вейбула [3]:

$$P(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t}{2112}\right)^{0,9}} \quad (2)$$



**Рис. 2. Гістограма наробітків високоміцних бурильних труб із стабілізуючими поясками типу ТБВК діаметром 140 мм**



**Рис. 3. Теоретична (1) та статистична (2) криві ймовірності безвідмовної роботи високоміцних бурильних труб із стабілізуючими поясками типу ТБВК діаметром 140 мм**

Аналіз параметрів надійності труб типу ТБПВ американського виробництва та ТБВК вітчизняного виробництва показує, що наробітки труб ТБПВ підпорядковані закону розподілу Вейбула з параметром форми  $\beta$ , рівним 2,5 – 7,0, що близько до нормального закону розподілу ( $\beta=3,0$ ), а труби ТБВК підпорядковані закону розподілу Вейбула з параметром форми  $\beta$ , рівним 0,9, що є близьким до експоненціального закону розподілу ( $\beta=1,0$ ).

### **Висновки**

Виконані дослідження ймовірності безвідмовної роботи бурильної колони із труб ТБПВ Ø89 мм та ТБВК Ø 140 мм, що впливає на ефективність і безпечність спорудження свердловини, дозволяє виключити її експлуатацію в передвідмовному стані за рахунок оцінки граничного стану та прогнозування їх залишкового ресурсу. Вища довговічність бурильних труб типу ТБПВ американського виробництва обумовлена безумовно кращими механічними характеристиками сталі, а також природнім легуванням сталі, що забезпечує високий опір поширенню тріщин втоми та опір зносу.

### **Література**

1. Stulen F.B., Schulte W.C. The fatigue analysis of the Mohole drill pipe and associated problems. Report № C-2951 of Curtiss-Wright Corp., Feb.,15, 1965, p.124 [PB-167161].
2. Копей Б.В. Розрахунок, монтаж і експлуатація бурового обладнання/ Підручник для студентів нафтових вузів. - Івано-Франківськ: Факел,- 2001, - 446 с.
3. ДСТУ 3004-95 Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними.

Науковий керівник: д.т.н., проф. Копей Б.В.

Стаття підготовлена в рамках Енергетичної стратегії

України на період до 2030 року

Стаття відправлена: 26.09.2016 р.

© Копей Б.В., Гладкий С.І., Сичов Ю.С.