

622.24.053

Я62

**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

Янишевський

ЯНИШЕВСЬКИЙ АНДРІЙ ЯРОСЛАВОВИЧ

УДК 622.24.053 (043)

Я62

**ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСУ ТА ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ЕЛЕМЕНТІВ
БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ**

Спеціальність 05.05.12 – машини нафтової і газової промисловості

**Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Івано-Франківськ – 2008

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор **Крижанівський Євстахій Іванович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, ректор

Офіційні опоненти:

1. Доктор технічних наук, професор Копей Богдан Володимирович, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, професор кафедри нафтогазового обладнання;

2. Кандидат технічних наук Дубленич Юрій Васильович, ЗАТ „Науково-дослідне і конструкторське бюро бурового інструменту” (м. Київ), директор.

Захист відбудеться «19» лютого 2008 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертації
національного
м. Івано-Франківського

Івано-Франківського
76019, Україна,

Автореферат



Вчений спеціаліст

Корнута



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним із шляхів підвищення техніко-економічних показників буріння свердловин є зменшення кількості відмов колон бурильних труб, на ліквідацію яких витрачаються значні кошти. У зв'язку з цим зростає актуальність проблеми зменшення абразивного зношування зовнішньої поверхні сталевих бурильних труб як визначального фактора їх довговічності.

Існуючі та інноваційні способи підвищення зносостійкості бурильних труб допомагають збільшити їх ресурс. Але незважаючи на це проблема виникнення непередбачених аварій залишається актуальною.

Існуюча методика нарахування зносу комплектів бурильних труб допомагає передбачати та попереджувати відмови колон бурильних труб. Застосовуючи цю методику використовують значення пробуреного інтервалу та усереднений коефіцієнт зношування елементів бурильних труб на цій ділянці, але не беруть до уваги механічні та абразивні властивості контактних поверхонь та інші умови тертя. Тому розрахунки за цією методикою не дають чітких результатів.

Отже, залишається актуальною необхідність розробити нову методику прогнозування довговічності колон бурильних труб, яка би враховувала їхнє зношування. Така наукова розробка допоможе передбачити знос та залишковий ресурс елементів бурильної колони і попередити їхні відмови.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження зносостійкості бурильних труб пов'язані з виконанням окремих етапів держбюджетної теми Д-3 – „Наукові основи створення та раціональної експлуатації нафтогазового обладнання й інструменту” (номер держреєстрації – № 0198U0055778).

Мета роботи. Розробити методику прогнозування довговічності колон бурильних труб для попередження їх відмов, використовуючи результати досліджень закономірностей зношування зовнішньої поверхні бурильних труб в умовах роторного буріння свердловин.

Основні завдання наукового дослідження:

1. Проаналізувати існуючі методики прогнозування довговічності колон бурильних труб та способи попередження їх відмов.
2. Створити установку для досліджень зношування сталевих бурильних труб при роторному бурінні в необсаджених стовбурах свердловин.
3. Дослідити сумісний вплив основних чинників, а саме: абразивності гірських порід, контактного тиску, швидкості ковзання, шляху тертя, твердості сталі, мастильної здатності бурових розчинів на величину зносу сталевих замків і бурильних труб.
4. Установити зв'язок масового зносу зовнішньої поверхні елементів бурильної колони з величиною контактних напружень у зоні тертя.
5. Установити залежність між величиною затраченої енергії при бурінні свердловини та величиною масового зносу зовнішньої поверхні бурильної колони.

6. Розробити буровий розчин з підвищеними мастильними властивостями.

7. Розробити методика прогнозування довговічності колон бурильних труб та провести її дослідно-промислово перевірку.

Об'єкт дослідження – зношування зовнішньої поверхні та довговічність сталевих бурильних труб, що контактують з гірськими породами в процесі роторного буріння свердловин.

Предмет дослідження – колона сталевих бурильних труб.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач використані експериментальні дослідження в лабораторних умовах, стандартні методи математичної та статистичної обробки результатів спостережень та програмування.

Основні положення, що захищаються:

– комплексна залежність величини масового зносу сталевих замків і бурильних труб від впливу основних чинників, а саме: абразивності гірських порід, контактної тиску, швидкості ковзання, шляху тертя, твердості сталі, мастильної здатності бурових розчинів;

– залежність величини масового зносу зовнішньої поверхні елементів бурильної колони від величини максимальних контактних напружень у зоні тертя;

– залежність між величиною затраченої енергії при бурінні свердловини та величиною масового зносу зовнішньої поверхні бурильної колони;

– буровий розчин з підвищеними мастильними властивостями;

– методика прогнозування довговічності колон бурильних труб.

Наукова новизна одержаних результатів. Уперше отримано комплексну залежність величини масового зносу сталевих бурильних труб від шести основних впливаючих чинників. Вона використана при розробці нової вдосконаленої методики прогнозування довговічності колон бурильних труб.

Вперше отримано залежність масового зносу зовнішньої поверхні сталевих бурильних труб від максимальних контактних напружень, а також залежність між витраченою енергією при бурінні свердловини та величиною масового зносу бурильних труб.

Практичне значення одержаних результатів:

1. За допомогою розробленої методики прогнозування довговічності колон бурильних труб визначається їх залишковий ресурс. Це допоможе раціонально планувати позачергову товщинометрію і ремонт бурильних труб і попереджувати їх відмови. Розроблена методика впроваджена в Прикарпатському УБР.

2. Розроблено буровий розчин з підвищеними мастильними властивостями, який сприяє зменшенню зносу зовнішньої поверхні елементів бурильної колони.

Особистий внесок здобувача. Розроблено алгоритм методики проведення досліджень [1], де особистий внесок здобувача становить 80 %. Самостійно під керівництвом д-ра техн. наук, професора Крижанівського Є.І. проведено дослідження зношування зовнішньої поверхні бурильних труб [2], де особистий внесок здобувача становить 100 %. Розроблено алгоритм прогнозування

працездатності бурильної колони [3], де особистий внесок здобувача становить 80 %. Самостійно під керівництвом д-ра техн. наук, професора Крижанівського Є.І. визначено розрахунково-емпіричний питомий енергетичний коефіцієнт зносу, а також розроблено енергетичний спосіб прогнозування величини масового та геометричного зносу бурильних колон [4], де особистий внесок здобувача становить 100 %. Запропоновано рецептуру бурового розчину з використанням нової мастильної композиції [5], де особистий внесок здобувача становить 90 %. Розроблено і оприлюднено методику прогнозування залишкового ресурсу бурильної колони [6], де особистий внесок здобувача становить 80 %.

Апробація та реалізація результатів дисертації. Результати дисертаційних досліджень доповідались на Міжнародній науково-технічній конференції „Надійність машин та прогнозування їх ресурсу” (RoM 2000). Також результати дисертації оприлюднювались на засіданнях науково-технічної ради НДПІ ВАТ „Укрнафта”. Крім цього робота заслуговувалась на наукових семінарах кафедр та на розширених наукових семінарах ІФНТУНГ МОН України.

Публікації. Результати дисертаційної роботи висвітлені у чотирьох статтях [1–4], одному декларативному патенті [5], матеріалах конференції [6].

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, бібліографічного списку літератури зі 132 найменувань та 4 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 5,1 авторських аркушів (109 сторінок). У роботі наведено 19 рисунків та 15 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи і дана її загальна характеристика.

Перший розділ дисертації присвячений опису проблеми і вибору напрямку подальших досліджень. Висвітлено характерні відмови бурильної колони, їх класифікація та причини. Описано існуючі способи підвищення зносостійкості та довговічності колон бурильних труб.

До факторів, що сприяють виникненню і розвитку зовнішнього зносу, належать такі: підвищена кривизна труб, неспіввісність різьб, відхилення в режимах термообробки, хибний підбір обважнених бурильних труб (ОБТ), кавернозність, інтенсивне викривлення свердловини.

Аналіз інформації про ремонт бурильної колони, яка відпрацювала в складних умовах буріння, показав, що 78 % від об'єму всіх замін замків здійснюють унаслідок надмірного зносу їх зовнішньої поверхні.

На бурильну колону одночасно діють різні силові фактори. При русі у стовбурі свердловини бурильна колона змінює форму осі, взаємодіє з обсадною колоною і стінкою стовбура, при цьому відбуваються процеси тертя і зношування.

На характер обертання колони бурильних труб у свердловині існують різні погляди. Александров М.М. вважає, що в практичних розрахунках слід

орієнтуватися на переважаючий вид руху і тому достатньо виявити характер обертання для тої чи іншої ділянки профілю свердловини.

На основі різних досліджень можна прийняти таке:

- а) розтягнута частина бурильної колони згинається по плоскій хвилеподібній кривій і дотикається до стінок свердловини у вершинах півхвиль;
- б) стиснута частина колони приймає форму просторової гвинтової спіралі, дотикаючись до стінок свердловини по всій своїй довжині.

Александров М.М. та інші у своїх працях доводять, що при досягненні крутним моментом критичної величини розтягнута частина колони може набувати форми гвинтової спіралі. Для оцінки максимально можливих значень притискуючих сил необхідно виходити з уявлення про обертову гвинтову спіраль. Саме ці підходи використано в наших дослідженнях.

На даний час існують різні шляхи підвищення довговічності колон бурильних труб, а саме: використання нових зносостійких матеріалів, застосування оптимальних режимів термічної та хіміко-термічної обробки матеріалів, конструктивні вдосконалення та покращення умов експлуатації.

Гостро відчувається потреба в наукових рекомендаціях, які дозволять прогнозувати величину зносу та залишковий ресурс колон бурильних труб. Завдання створення методики прогнозування довговічності колон бурильних труб з позиції їх зношування залишається актуальним.

У другому розділі дисертаційної роботи описано загальну методику проведення дисертаційних досліджень. Висвітлено методику експериментальних досліджень та математичної обробки їх результатів.

Під час проведення досліджень уважалось, що колона бурильних труб поводитись як гнучкий вал. Тобто кутова швидкість обертання навколо власної осі буде рівна результуючій кутовій швидкості. Дослідження проводились при швидкостях ковзання v_k від 0,4 до 1,5 м/с, що відповідає фактичним значенням швидкостей ковзання в свердловині.

Діапазон контактного тиску p вибирався від 0,5 до 5 МПа, що також відповідає фактичним навантаженням у свердловині. Абразивність гірських порід a_e значною мірою впливає на довговічність бурильних труб, а тому враховувався цей початковий фактор при дослідженні. За величиною показника абразивності всі гірські породи поділені на вісім класів, згідно з методом зношування еталонного стержня, який розроблений в інституті гірничої справи ім. А.А. Сковчинського. Під час досліджень використовувались керни таких порід: вапняку, аргіліту, алеволіту, пісковіку дрібнозернистого, пісковіку крупнозернистого. Вони належали до I, III, V, VII, VIII класів абразивності.

Лабораторні дослідження проводились за умови, коли мінімальний шлях тертя L_T – 1 км, а максимальний – 12 км. Дослідні зразки виготовлялись з бурильних труб і муфт бурильних труб таких груп міцності: Д, К, Е, Л, М. Для того, щоб дослідні зразки мали приблизно однакову масу, їх виготовляли різної довжини. Зразки меншого діаметра були довгими, ніж зразки більшого діаметра. Тому була різною і площа контакту зразків з керном. Отже, однаковому значенню

контактного тиску для різних зразків відповідало різне навантаження. Твердість сталі бурильних труб *НВ* при дослідженнях змінювалась від 2,2 до 3,2 ГПа.

В експериментах використовувались рекомендовані бурові розчини. Тобто при терті по вапняку, який належить до карбонатних порід, застосовувався полімерний розчин. При терті по аргіліту використовувався хлор-калієвий буровий розчин, який належить до інгібуючих розчинів. При терті по алевроліту і пісковіку, які належать до уламкових порід, застосовувався цей самий, але обважнений розчин. Склад бурових розчинів, хімреагенти і частота вимірювань параметрів відповідають чинним рекомендаціям. Також використовувались мастильні композиції – „Бутислан-К”, „емульсія відходів індустріального масла”. Їхня ефективність характеризується з допомогою відношення коефіцієнтів $(a_{ш})_{зв.}$, $(a_{ш})_i$, які характеризують інтенсивність зношування одиниці маси бурильної колони дослідного зразка в звичайному і обробленому *i*-тою речовиною розчинах за однакових умов.

Унаслідок позитивних результатів випробування нових мастильних композицій їх рекомендовано для практичного використання. Також запатентовано буровий розчин, що додатково містить екологічно безпечний адсорбат – фільтрат торфу, який знижує коефіцієнт тертя.

Число необхідних дослідів для шести факторів і п'яти варіантів кожного з них рівне загальному числу: $5^6=15625$ комбінаціям. Крім того, якщо врахувати те, що експеримент (варіант) потрібно повторити декілька раз для отримання чітких середніх значень, то стає очевидним, що це – нераціонально.

Тому використано перевірену на практиці універсальну методику раціонального планування експериментів М.М. Прогодьяконова та Тедера Р.І. Вона розроблена на основі використання числових блоків. Ця методика дозволила скоротити число необхідних експериментів у даному випадку в 625 раз. Отже, число експериментів, які необхідно виконати, стало рівним 25 (рис. 1), якщо не враховувати необхідні повторювання дослідів. Змінюючи порядок усереднення, із одних і тих самих даних 25 дослідів знаходиться вплив усіх шести факторів і отримуються окремі емпіричні формули та комплексна емпірична залежність.

Досліди проводились на спеціально розробленій експериментальній установці. Щоб випадкова похибка результату величиною ΔX була порядку S_n (середньоквадратичного відхилення) при ймовірності $\alpha=0,95$, потрібно виконати кожний з 25 різних дослідів повторно сім раз.

Результати лабораторних експериментів обробляли за методикою, запропонованою проф. М.М. Прогодьяконовим у такому порядку:

а) згрупували результати вимірювань при однакових значеннях кожної змінної і знаходили для кожного випадку середнє арифметичне або середнє геометричне значення;

б) будували залежності середнього значення функції від кожної незалежної змінної;

в) знаходили окремі емпіричні залежності для кожної змінної;

г) виводили загальну формулу;
 д) розрахункові дані співставляли з вихідними величинами і проводили аналіз:

- обчислювали середнє квадратичне відхилення;
- визначали закон розподілу випадкових похибок.

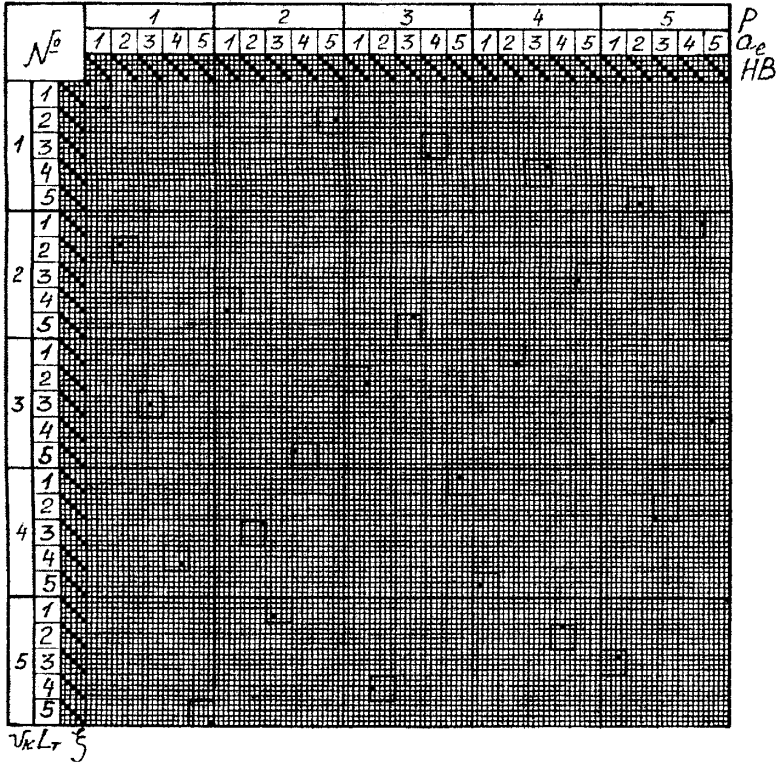


Рис. 1. Комбінаційний квадрат для шестифакторного комплексу:

$HВ$ – твердість сталі;

$\xi = \frac{(a_w)_{3B}}{(a_w)_i}$ – частка коефіцієнтів пропорційності.

При взаємодії бурильних труб з необсадженою стінкою свердловини чи обсадною колоною виникають контактні напруження. Вони мають місцевий характер, зменшуються з віддаленням від зони контакту і не перевищують межі пружності. У випадку тертя бурильної колони з обсадною або при сумнівних даних стосовно твердості сталі бурильних труб чи мастильної здатності бурового

розчину необхідно мати залежність масового зносу сталевих бурильних труб від контактних напружень, використання якої в комплексній емпіричній формулі допоможе коректніше врахувати особливості контактуючих поверхонь.

Під час експериментів зразки контактували з торцевою поверхнею кернів гірських порід (рис. 2).

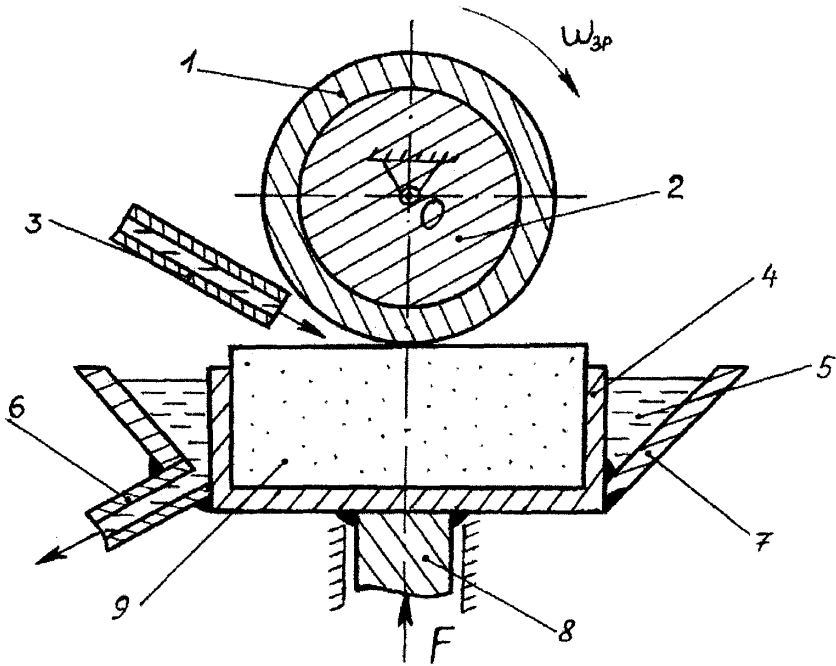


Рис. 2. Принципова схема взаємодії зразка з керном гірської породи:

- 1 – сталевий зразок;
- 2 – деталь для фіксації дослідного зразка;
- 3 – трубка для подачі промивної рідини;
- 4 – кернотримач;
- 5 – промивна рідина;
- 6 – трубка для відведення промивної рідини;
- 7 – ємність для збору промивної рідини;
- 8 – плунжер гідродомкрата;
- 9 – керн гірської породи.

Відомо, що для вищеписаної схеми контакту найбільші контактні напруження σ_{\max} визначають за формулою Герца:

Діаметр дослідного зразка вимірювали з допомогою оптико-механічної вимірювальної машини.

Твердість сталевих зразків вимірювали згідно з ГОСТ 9012 твердоміром по одному разу, так як значення випадкової помилки значно менше інструментальної.

Масовий знос дослідних зразків визначали методом зважування до і після тертя. При вимірюваннях маси зразка використовували вагу ВЛЮ-І-1. Досліди повторювали по 7 разів.

Знайдено середні геометричні значення величини зносу. Значення Q прологарифмовано і отримано середні значення логарифмів при однакових значеннях кожної із змінних величин. За цими даними побудовано залежності, які вдалося апроксимувати плавною кривою. Ці криві описані рівняннями при значеннях впливаючих факторів, які відповідають реальним умовам буріння. Оскільки ці формули отримуються шляхом сумування логарифмів, то випливає, що загальна шукана емпірична залежність матиме вигляд добутку окремих функцій.

Наводимо отримані емпіричні формули.

$$Q_p = 0,062 + 0,314 \cdot p, \quad (5)$$

$$Q_{\text{абр.}} = 7,505 \cdot 10^{-2} + 1,512 \cdot 10^{-2} \cdot a_e, \quad (6)$$

$$Q_{\text{НВ}} = 2,763 - 7,317 \cdot 10^{-4} \cdot \text{НВ}, \quad (7)$$

$$Q_{\text{б.р.}} = 2,583 - 5,663 \cdot 10^{-1} \cdot (a_w)_{\text{зв.}} / (a_w)_i, \quad (8)$$

$$Q_{v_k} = 9,284 \cdot 10^{-1} - 2,611 \cdot 10^{-1} \cdot v_k, \quad (9)$$

де Q_p , $Q_{\text{абр.}}$, $Q_{\text{НВ}}$, $Q_{\text{б.р.}}$, Q_{v_k} – компоненти зносу, що залежать від контактного тиску, абразивності гірської породи, твердості сталі, мастильної здатності бурового розчину, швидкості ковзання, г;

p – контактний тиск, МПа;

a_e – коефіцієнт абразивності гірської породи, мкг/с;

НВ – твердість сталі за Брінелем, МПа;

v_k – швидкість ковзання бурильної колони по стінці свердловини, м/с.

До шляху тертя, що рівний 10 км, спостерігається чітка прямолінійна залежність. Для шляху тертя від 10 до 12 км темп зношування помітно знижується і закономірність набуває на цій ділянці, внаслідок наклепу металу і затуплення абразиву, криволінійного характеру.

Залежність компоненти масового зносу Q_{L_T} від шляху тертя для проміжку від 0 до 10 км має такий вигляд:

$$Q_{L_T} = 4,677 \cdot 10^{-2} + 1,271 \cdot 10^{-4} \cdot L_T, \quad (10)$$

де Q_{L_T} – компонента масового зносу, що залежить від шляху тертя, г;

L_T – шлях тертя, м.

Для шляху тертя від 10 до 12 км побудуємо інтерполяційний многочлен Лагранжа. Він має вигляд многочлена четвертого степеня.

$$P_4(L_T) = -4,985 \cdot 10^{-16} L_T^4 + 1,256 \cdot 10^{-11} L_T^3 - 1,0731 \cdot 10^{-7} L_T^2 + 4,702 \cdot 10^{-4} L_T - 0,23, \quad (11)$$

Для шляху тертя від 12 км залежність має такий вигляд:

$$Q_{L_T} = 4,481 - 0,263 \cdot 10^{-3} \cdot L_T \quad (12)$$

Очевидно, що при $L_T=17$ км і більше $Q_{L_T}=0$, внаслідок ефекту наклепування металу. Для цього випадку не враховується компонента Q_{L_T} у загальній емпіричній формулі. Тому рівняння (12) можна використовувати для шляху тертя від 12 до 17 км.

Комплексна емпірична формула матиме такий вигляд:

$$Q = Q_P \cdot Q_{\text{абр.}} \cdot Q_{D_K} \cdot Q_{L_T} \cdot Q_{\text{НВ}} \cdot Q_{\text{б.р.}} \cdot K_{\text{УТ}}, \quad (13)$$

де $K_{\text{УТ}}$ – узгоджуючий коефіцієнт, який залежить від довжини шляху тертя, $\sqrt[4]{\text{Г}}$.

У формулу (13) замість Q_{L_T} підставляємо відповідні для кожного окремого випадку вищенаведені залежності. Отже, формула (13) може бути представлена різними видами для відповідних випадків.

При використанні інтерполяційного многочлена Лагранжа $K_{\text{УТ}}=6,97 \sqrt[4]{\text{Г}}$, а для інших випадків – $K_{\text{УТ}}=6,62 \sqrt[4]{\text{Г}}$.

Формулу (13) проаналізовано шляхом порівняння обчислених і експериментальних значень величини масового зносу Q . При ймовірності $\alpha=0,95$ випадкова похибка попадає в симетричний інтервал $[-0,084; 0,084]$.

У четвертому розділі, висвітлено визначення закономірності впливу контактних напружень на масовий знос сталевих бурильних труб.

При терті бурильних труб по стінці свердловини діють контактні напруження. Вони мають місцевий характер і швидко зменшуються з віддаленням від місця контакту. Очевидно, що зношування та залишковий ресурс бурильної колони залежать від властивостей металу бурильних труб і гірської породи.

Бурильні труби повинні мати високу твердість і достатню межу витривалості. Проте одночасно задовільнити ці дві вимоги механічних властивостей трубних сталей дуже важко. Високому значенню твердості відповідає висока здатність до крихкого руйнування через низьку межу

витривалості. Тому для виключення зломів тіла бурильних труб і їх замків знижують твердість, створюючи цим небажані умови для їх абразивного зношування.

Як випливає з формули (1), контактні напруження залежать від пружних властивостей матеріалу. Чітка аналітична залежність величини масового зносу від контактних напружень дозволить урахувати особливості матеріалів контактуючих поверхонь. Величини контактних напружень і ширина смуги контакту несуттєво відрізняються при різних схемах контакту (циліндр-циліндр, циліндр-площина), а природа їх виникнення – однакова. При експериментах дослідні зразки контактували з плоскою поверхнею кернів гірських порід.

Діаметри зразків і навантаження визначались під час досліджень шляхом прямих вимірювань. Дослідження проводились при п'яти різних значеннях розподілених навантажень. Тому обчислено середнє геометричне значення величини σ_{\max} для кожного окремого варіанту контактної тиску p (метод усереднення).

У загальному випадку контакту циліндра і площини відомо, що

$$b = 1,131 \cdot \sqrt{\frac{FR}{l} \cdot \left(\frac{1-\mu^2}{E} + \frac{1-\mu_{\text{гп}}^2}{E_{\text{гп}}} \right)}; \quad (14)$$

$$\sigma_{\max} = 0,5642 \cdot \sqrt{\frac{\frac{F}{lR}}{\frac{1-\mu^2}{E} + \frac{1-\mu_{\text{гп}}^2}{E_{\text{гп}}}}}. \quad (15)$$

Контактні напруження можна обчислити при взаємодії двох тіл в області малих пружних деформацій. Відомо, що при заглибленні стандартного штампа в гірську породу до 50 мкм спостерігається пружна деформація. Щоб заглиблення штампа не перевищувало 50 мкм, максимальне навантаження на штамп повинно бути $F_{\text{шт}} \approx 3$ кН, а площа штампа – $S_{\text{шт}} = 2$ мм². При цьому виникає контактний тиск 1,5 ГПа, який є вищим від контактної тиску, що виникає при взаємодії зразків з керном при експериментальних дослідженнях зносу. Отже, контактні напруження не перевищують межі пружності.

Також експерименти дають підстави стверджувати, що величини обчисленого і фактичного сліду контакту – різні. Під час тертя сталевих зразків по гірській породі імітується врізання колони бурильних труб у стінку свердловини. Внаслідок припрацювання поверхонь тертя формується слід контакту, який більший, ніж при первинному контакті цих поверхонь.

Тому потрібно ввести уточнюючий експериментальний коефіцієнт K_b . Фактична ширина сліду контакту бурильної колони та необсадженої стінки свердловини буде рівною – $2bK_b$, а емпірична залежність компоненти масового зносу від контактних напружень має вигляд:

$$Q_{\sigma_{\max}} = 0,031 \cdot \sigma_{\max} - 0,484. \quad (16)$$

При роботі елемента бурильної колони в обсадженому стовбурі свердловини або в необсадженому, з високою твердістю гірської породи, в формулі (13) компонента Q_p замінюється на $Q_{\sigma_{\max}}$.

У п'ятому розділі висвітлена методика прогнозування довговічності колон бурильних труб. У випадку відсутності детальної промислової інформації бажано мати альтернативну залежність обчислення масового зносу колон бурильних труб. Такою альтернативою можуть служити енергетичні затрати на тертя і знос одиниці маси бурильної колони при проході певного інтервалу стовбура свердловини. При цьому кількісним показником є розрахунково-емпіричний питомий енергетичний коефіцієнт зносу $K_{ен.с.}$ [мкг/Дж.]. Використовуючи методику визначення масового зносу за допомогою комплексної емпіричної формули (13) та обчислюючи величини затраченої енергії на буріння свердловини в різних геолого-технічних умовах, отримуємо відповідні значення коефіцієнта $K_{ен.с.}$ Для прикладу, на основі результатів буріння свердловин у західному та східному регіонах України встановлено усереднене значення питомого енергетичного коефіцієнта зносу — $K_{ен.с.} = 34,1$ мкг/Дж. Аналізуючи статистичні дані, отримані при бурінні свердловин у різних регіонах на різних родовищах і площах, уточнюємо значення питомого енергетичного коефіцієнта зносу для різних умов буріння, що сприяє більш коректному прогнозуванню зносу і залишкового ресурсу елементів бурильних колон.

Використовуючи комплексну емпіричну залежність та енергетичний метод прогнозування зносу бурильних труб, розроблено методику прогнозування довговічності колон бурильних труб. Відповідно до її першої частини необхідно виконати таке: визначити сили притиснення за методикою Александра М.М, використовуючи нижченаведені формули.

$$F_{пв.р} = (p_{ц.в} - \Phi_p) \cdot l_{п.р}; \quad (17)$$

$$F_{пв.0} = (p_{ц.в} - \Phi_0) \cdot l_{п.0}; \quad (18)$$

$$F_{пв.с} = (p_{ц.в} + \Phi_c) \cdot l_{п.с}; \quad (19)$$

$$\left. \begin{aligned} (p_{ц.в})_1 &= \frac{P_{ц.}^* \cdot r_1}{0,82}; \\ (p_{ц.в})_2 &= \frac{P_{ц.}^* \cdot r_2}{0,82}; \end{aligned} \right\}; \quad (20)$$

$$\Phi_p = r_1 \cdot \left(\frac{\pi}{l_{п.р}} \right)^2 \cdot \left[EI \cdot \left(\frac{\pi}{l_{п.р}} \right)^2 + P_1 \right]; \quad (21)$$

$$\Phi_0 = r_1 \cdot \left(\frac{\pi}{l_{п.0}} \right)^4 \cdot EI; \quad (22)$$

$$\Phi_c = r_2 \cdot \left(\frac{\pi}{l_{п.с}} \right)^2 \cdot \left[P - EI_{КНБК} \cdot \left(\frac{\pi}{l_{п.с}} \right)^2 \right]; \quad (23)$$

$$r_1 = \frac{D_{св} - D}{2}; \quad (24)$$

$$r_2 = \frac{D_{св} - D_{КНБК}}{2}, \quad (25)$$

де $(p_{ц.в})_1$, $(p_{ц.в})_2$ – одиничні відцентрові сили в розтягнутій і стиснутій частині бурильної колони, Н/м;

$l_{п.0}$, $l_{п.р}$, $l_{п.с}$ – довжини півхвиль при рівності осьової сили нулю; при розтягу та стиску, м;

$P_{ц}^*$ – середня інтенсивність відцентрової сили, Н/м²;

r_1 , r_2 – радіальні зазори (половина різниці діаметрів свердловини і труб), м;

Φ_p , Φ_c , Φ_0 – питомі зусилля в розтягнутій і стиснутій частині бурильної колони та нейтральному перерізі, що залежать від умов осьового навантаження, Н/м;

P_1 , P – розтягуюче і стискуюче навантаження (за модулем), Н;

I , $I_{КНБК}$ – осьовий момент інерції поперечного січення бурильної колони та компоновки низу бурильної колони (КНБК), м⁴;

D , $D_{св}$ – зовнішній діаметр труби та діаметр свердловини, м;

Обчислюємо площу контакту півхвилі колони бурильних труб зі стінкою свердловини та контактний тиск за такими формулами (26)-(27).

$$S = 2 \cdot b \cdot K_b \cdot l_{п}; \quad (26)$$

$$p = \frac{F_{пв}}{S}. \quad (27)$$

де b , S – половина ширини сліду контакту та площа контакту півхвилі колони бурильних труб зі стінкою свердловини, м².

Далі знаходимо значення всіх інших факторів і прогнозуємо величину масового зносу за комплексною емпіричною залежністю. Визначаємо значення зношеного зовнішнього діаметра бурильних труб при бурінні прогнозованої ділянки. Якщо зовнішній діаметр бурильних труб та їх замків знаходиться в нормі, то визначаємо залишковий ресурс, враховуючи попередній наробіток.

При відсутності детальної промислової інформації, згідно з другою частиною методики прогнозування довговічності колон бурильних труб, необхідно виконати таке: енергетичним методом визначити масовий знос колони бурильних труб; аналогічно алгоритму першої частини необхідно спрогнозувати залишковий ресурс колони бурильних труб.

ВИСНОВКИ

1. На основі проведеного аналізу встановлено, що не існує точної методики прогнозування довговічності колон бурильних труб, яка би враховувала сумісний вплив основних факторів на величину зносу. Розробка такої методики допоможе попереджувати відмови бурильних колон.

2. Створено установку (багатофакторну фізичну модель) для дослідження зношування бурильних труб при роторному бурінні в необсаджених стовбурах свердловин. Установка дозволяє максимально точно моделювати процес тертя елементів бурильної колони зі стінкою свердловини.

3. Встановлено, що на знос бокових поверхонь елементів бурильних колон при роторному бурінні в необсаджених стовбурах свердловин впливає шість незалежних чинників, а саме: абразивність гірських порід, контактний тиск, швидкість ковзання, шлях тертя, твердість сталі, мастильні властивості бурових розчинів. Експериментально визначено сумісний вплив цих чинників на знос зовнішніх поверхонь сталевих замків і бурильних труб, що дало змогу отримати комплексну емпіричну залежність масового зносу бурильних колон.

4. Встановлено зв'язок масового зносу зовнішньої поверхні елементів бурильної колони з величиною контактних напружень у зоні тертя. Ріст контактних напружень спричинює прямо пропорційний ріст величини зносу внаслідок більш інтенсивного вторгнення абразиву в поверхню сталі.

5. Встановлено, що залежність між величиною затраченої енергії при бурінні свердловини та величиною масового зносу зовнішньої поверхні бурильної колони є прямо пропорційною. Коефіцієнт пропорційності для сталевих бурильних колон складає $K_{ен,с}=34,1$ мкг/Дж. Це дає можливість за величиною енергії, витраченої на буріння, визначити масовий знос бурильної колони і прогнозувати її залишковий ресурс.

6. Розроблено буровий розчин з підвищеною мастильною здатністю, який містить глину, вуглецевий реагент, колоїдний графіт, фільтрат торфу та воду.

7. З метою попередження відмов сталевих бурильних колон розроблено методику прогнозування їх довговічності, яка базується на використанні отриманої комплексної емпіричної залежності та енергетичного методу розрахунку величини зносу. Ця методика – вдосконалений інструмент, який дає можливість передбачити залишковий ресурс бурильних колон і раціонально спланувати товщинометрію. Дослідно-промислова перевірка підтвердила її достовірність.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ СТОСОВНО ДИСЕРТАЦІЇ

1. Крижанівський Є.І., Янишевський А.Я. Методика проведення досліджень зносу зовнішньої поверхні бурильних труб // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Сер. „Буріння нафтових і газових свердловин”: Держ. міжвід. наук.-техн. зб. / ІФДТУНГ. – Івано-Франківськ, 1998. – Т. 2, вип. 35. – С. 237-247.

2. Янишевський А.Я. Дослідження спрацювання зовнішньої поверхні бурильних труб // Нафтова і газова промисловість. – 1999. – № 5. – С. 27-29.

3. Крижанівський Є.І., Янишевський А.Я. Методика прогнозування працездатності бурильної колони // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Сер. „Нафтогазпромислове обладнання”: Держ. міжвід. наук.-техн. зб. / ІФДТУНГ. – Івано-Франківськ, 1999. – Т. 4, вип. 36. – С. 14-23.

4. Янишевський А.Я. Розрахунок масового зносу бурильної колони енергетичним методом // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ: Всеукр. щокв. наук.-техн. журнал / ІФНТУНГ. – Івано-Франківськ, 2007. – № 2 (23). – С. 70-73.

5. Пат. 32178А Україна, МПК⁷ С 09 К 7/02. Буровий розчин / Є.І. Крижанівський, А.Я. Янишевський (Україна); Івано-Франківський держ. техн. ун-т нафти і газу. – № 98127070; Заявл. 31.12.98; Опубл. 15.12.00 // Промислова власність. – 2000. – Бюл. № 7, Т. II. – С. 1.132.

6. Крижанівський Є.І., Янишевський А.Я. Забезпечення надійності бурильних колон шляхом прогнозування і забезпечення їх зносостійкості // Надійність машин та прогнозування їх ресурсу (RoM 2000): Міжнар. наук.-техн. конф. / ІФДТУНГ. Івано-Франківськ – Яремча, 20-22 верес. 2000 р. – Івано-Франківськ, 2000. – Т. 2. – С. 442-450.

АНОТАЦІЯ

Янишевський А.Я. Прогнозування зносу та залишкового ресурсу елементів бурильної колони. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Спеціальність 05.05.12 – машини нафтової і газової промисловості. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2008.

Представлено результати досліджень зносостійкості сталевих бурильних колон. Отримано комплексну емпіричну залежність величини масового зносу сталевих бурильних труб від впливу шести основних факторів. Досліджено нові мастильні композиції та буровий розчин. Отримано залежність масового зносу сталевих бурильних колон від максимальних контактних напружень. Розроблено енергетичний метод прогнозування зносу сталевих бурильних колон. Розроблено методику прогнозування довговічності сталевих бурильних колон. З допомогою цієї методики прогнозується залишковий ресурс сталевої бурильної колони. Це дозволить зменшити кількість відмов сталевих бурильних колон шляхом планування позачергової товщинометрії бурильних труб. Методика впроваджена у виробництво.

Ключові слова: сталеві бурильні колони, зносостійкість, комплексна емпірична залежність, масовий знос, мастильні композиції, буровий розчин, максимальні контактні напруження, енергетичний метод прогнозування, методика прогнозування довговічності, залишковий ресурс.

АННОТАЦИЯ

Янышевский А.Я. Прогнозирование износа и остаточного ресурса элементов бурильной колонны. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность 05.05.12 – машины нефтяной и газовой промышленности. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2008.

Диссертация посвящена вопросу обеспечения надёжности бурильных колонн. В диссертации разрабатывается методика прогнозирования долговечности бурильных колонн. Используется эмпирическая зависимость, которая получена в результате проведенных исследований. Разработано новые смазочные композиции и буровой раствор. Они повышают остаточный ресурс бурильных труб. Это доказано экспериментально. Методика прогнозирования долговечности колонн бурильных труб внедрена в производство.

В первом разделе проанализировано состояние проблемы. На основании теоретического анализа методов прогнозирования величины износа бурильных труб и методов повышения износостойкости установлено, что нет методики прогнозирования долговечности колонн бурильных труб, которая учитывает суммарное влияние основных факторов на величину износа. Поэтому существует необходимость разработки такой методики. Она поможет предупредить отказы колонн бурильных труб.

Во втором разделе описана методика проведения экспериментов. Описана применённая стандартная методика планирования экспериментов. Она позволила сократить количество проведённых экспериментов. Также в этом разделе описано созданную установку (многофакторную физическую модель) для проведения экспериментов. Установка создана на базе токарного станка и позволяет смоделировать процесс врезания бурильной трубы в стенку скважины. Установка отличается от известных тем, что позволяет максимально точно и с минимальными затратами смоделировать процесс трения бурильных труб со стенкой скважины.

В третьем разделе, с целью получения новой комплексной эмпирической формулы, экспериментальным путём изучалось влияние шести основных факторов – абразивности горных пород, контактного давления, скорости скольжения, пути трения, твёрдости стали по Бриннелю, смазывающих свойств буровых растворов на износостойкость стальных бурильных труб. Отмечено прямопропорциональное увеличение износа стальных бурильных труб при возрастании величины контактного давления, абразивности горных пород, что объясняется повышением режущей способности абразива. С увеличением пути трения величина износа пропорциональна до определённой границы. С ростом твёрдости стали, смазывающей способности раствора и скорости скольжения уменьшается глубина внедрения абразива в поверхность стали и его режущая способность уменьшается, поэтому уменьшается величина износа стальных

образцов бурильных труб. В результате обработки результатов исследований впервые получено комплексную зависимость величины массового износа от шести основных влияющих факторов, которая помогает точнее спрогнозировать ресурс бурильной колонны.

В четвертом разделе описывается эмпирическая зависимость износа стальных бурильных труб от максимальных контактных напряжений. Установлено, что рост контактных напряжений приводит к прямопропорциональному увеличению величины износа образцов стальных бурильных труб вследствие более интенсивного внедрения абразива в поверхность стали. Проанализировав и обработав экспериментальные данные, получено эмпирическую зависимость, которая позволяет прогнозировать величину массового износа стальных бурильных труб, учитывая влияние максимальных контактных напряжений.

В пятом разделе установлено зависимость величины затраченной энергии при бурении скважины и величиной массового износа внешней поверхности бурильных труб. С целью предупреждения отказов стальных бурильных труб, разработано методика прогнозирования долговечности бурильных колонн, которая базируется на использовании комплексной эмпирической формулы и энергетического метода расчёта величины износа. Эта методика – инструмент, позволяющий прогнозировать остаточный ресурс стальных бурильных колонн и рационально спланировать внеочередную толщинометрию бурильных труб.

В результате проведённой промышленной проверки методики прогнозирования долговечности бурильных колонн, по данным Прикарпатского УБР, подтверждено её надёжность. Она внедрена в производство, что позволит предупредить отказы стальных бурильных колонн.

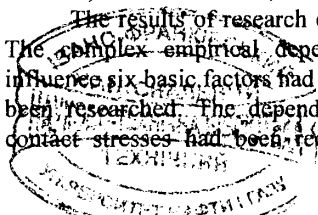
Ключевые слова: стальные бурильные колонны, износостойкость, комплексная эмпирическая зависимость, массовый износ, смазочные композиции, буровой раствор, максимальные контактные напряжения, энергетический метод прогнозирования, методика прогнозирования долговечности, остаточный ресурс.

ANNOTATION

Yanyshvsky A.Y. Wear and residual life prediction of elements drill string. – Manuscript.

Thesis for a candidate's degree in technical sciences. Speciality 05.05.12 – machines of oil and gas industry. Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2008.

The results of research of steel drill strings wear resistance had been presented. The complex empirical dependence of steel drill strings value mass wear from influence six basic factors had been received. New oil compounds and drilling fluid had been researched. The dependence of steel drill strings mass wear from maximum contact stresses had been received. The energetic prediction method of steel drill



strings wear had been elaborated. The durability prediction methods of steel drill strings had been elaborated. Residual life of steel drill string is predicted with the help of these methods. It will allow to decrease quantity of steel drill strings refusal by plan of extra measuring of drill pipes thickness. The methods were inculcated in industry.

Key words: steel drill strings, wear resistance, complex empirical dependence, mass wear, oil compounds, drilling fluid, maximum contact stresses, energetic prediction method, durability prediction methods, residual life.