

622.24.051

В. І. Іванко І Ф Н Т У Н І

Івано - Франківський національний технічний університет нафти і газу

Василюк Юрій Михайлович

УДК 622.24.051

ВПЛИВ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У БУРИЛЬНІЙ КОЛОНІ
НА РОБОТУ ТРИЩАРОШКОВИХ ДОЛІТ

05.15.10 - буріння свердловин

III / IHB

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Івано-Франківськ - 2002

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
Мислюк Михайло Андрійович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу,
професор кафедри буріння
нафтових і газових свердловин

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Мойсишин Василь Михайлович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу,
професор кафедри вищої математики

кандидат технічних наук
Кунцяк Ярослав Васильович,
завідувач відділу технічних засобів буріння,
ВАТ “Український нафтогазовий інститут”, м. Київ

Провідна установа: Український науково-дослідний інститут природних газів
ДК “Укргазвидобування” НАК “Нафтогаз України”, м. Харків

2003 р. о 14 годині на засіданні
Івано-Франківського національного

15.

Інституті Івано-
газу за

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Економіка України на сучасному етапі гостро потребує підвищення темпів видобутку вуглеводневої сировини. Це вимагає збільшення об'ємів буріння глибоких свердловин, пошуку та розвідки нових родовищ нафти і газу. У зв'язку з цим зменшення вартості спорудження свердловин є надзвичайно актуальним.

Основні об'єми глибокого буріння в Україні на даний час виконуються роторним способом з використанням тришарошкових доліт; тому зрозуміло, що вдосконалення технології їх відробки є вагомим резервом підвищення техніко-економічних показників спорудження свердловини. Одним із експлуатаційних методів підвищення показників роботи бурових доліт є регулювання динамічних режимів їх роботи. Відомо, що поздовжні коливання долота у процесі буріння вагомо впливають на ефективність руйнування породи.

Вивчення поздовжніх коливань у бурильній колоні дасть можливість цілеспрямовано впливати на динаміку долота з метою оптимізації режиму його роботи, а також забезпечувати низький рівень вібрацій в інших частинах колони, що дозволить запобігати прискореному зношуванню бурильного інструменту і пов'язаним із цим аваріям. Регулювання динамічних режимів може здійснюватись підбором оптимальних для даних умов режимних параметрів, вибором відповідних компоновок низу бурильної колони (КНБК) та використанням різних пристроїв, що впливають на поздовжні коливання (амортизатори, вібратори та ін.).

Вивчення опублікованих за даним питанням наукових праць дало можливість визначитися в напрямках інтенсифікації динамічного режиму відробки доліт, які ґрунтуються на концентрації коливальної енергії в області долота внаслідок відбивання хвиль або пружної взаємодії з вибоєм невеликої зв'язаної з долотом маси, яка динамічно (за допомогою амортизатора) ізольована від верхніх секцій бурильної колони.

Дослідження поздовжніх коливань бурильної колони дозволяє також обґрунтувати методи впливу на шкідливі низькочастотні коливання, що виникають внаслідок наявності нерівностей вибою (вибоїн), з'ясувати причини утворення вибоїн та способи запобігання їх.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота входить до науково-тематичних планів Міністерства освіти і науки та підприємств нафтогазовидобувної галузі України. Результати роботи використані при виконанні договору г/т 96/98 з БУ "Укрбургаз" ДК "Укргазвидобування" титуті нафтогазових технологій університету нафти і газу.

Івано-Франківського ф



Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення техніко-економічних показників роботи тришарошкових доліт за рахунок вибору їх раціональних типів і режимних параметрів на основі аналізу результатів відробки доліт та динамічних характеристик поздовжніх коливань у процесі буріння.

Задачі дослідження.

1. Аналіз показників роботи тришарошкових доліт на площах бурового управління “Укрбургаз”.
2. Удосконалення математичної моделі поздовжніх коливань при бурінні тришарошковими долотами.
3. Дослідження впливу режимних параметрів, типів КНБК та їх елементів на динамічні характеристики коливальної системи “бурильна колона – долото – вибій”.
4. Розробка практичних рекомендацій для відробки тришарошкових доліт.

Об’єкт дослідження – динамічні процеси в коливальній системі “бурильна колона – долото – вибій” при бурінні свердловин.

Предмет дослідження – динамічні характеристики поздовжніх коливань при бурінні тришарошковими долотами.

Методи дослідження. Аналіз показників роботи тришарошкових доліт виконаний з допомогою методів математичної статистики. Модель поздовжніх коливань при бурінні тришарошковими долотами побудована з використанням методів математичного і фізичного моделювання. Вивчення динамічних режимів коливальної системи “бурильна колона – долото – вибій” ґрунтується на застосуванні числових методів розв’язку та методів математичного і функціонального аналізів. Для розробки практичних рекомендацій з раціональної відробки тришарошкових доліт використані статистичні методи аналізу даних і методи аналізу результатів моделювання динамічних процесів у бурильній колоні з допомогою ЕОМ.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Удосконалено математичну модель поздовжніх коливань бурильної колони при бурінні тришарошковими долотами.
2. Обґрунтовані принципи вибору технологічних (тип і параметри КНБК) та режимних (осьове навантаження і частота обертання) параметрів з точки зору інтенсифікації динамічних режимів роботи доліт.
3. Дістало подальший розвиток вивчення причин утворення на вибої нерівномірностей (вибоїн), досліджено їх вплив на динаміку коливальної системи та запропоновані заходи для запобігання утворенню вибоїн.

Практичне значення одержаних результатів полягає у науковому обґрунтуванні рекомендацій з раціональної відробки тришарошкових доліт, які включають:

- вибір раціональних типів доліт;
- вибір оптимальних режимних параметрів;
- обґрунтування і вибір динамічних режимів відробки доліт.

Рекомендації, розроблені на основі одержаних результатів, передані для впровадження в БУ “Укрбургаз”. Розроблене програмне забезпечення впроваджене в БУ “Укрбургаз” та в ДК “Укргазвидобування”.

Особистий внесок здобувача. Участь у розробці математичної моделі поздовжніх коливань у бурильній колоні при бурінні шарошковими долотами (модель розроблена сумісно з М.А.Мислюком та І.Й.Рибичем). Числовий розв’язок поставленої задачі та його програмна реалізація. Вивчення впливу різних КНБК і режимних параметрів на динаміку бурильної колоні. Аналітичні дослідження поширення поздовжніх хвиль у бурильній колоні. Вивчення деяких аспектів впливу вибоїн на динаміку бурильної колоні та обґрунтування способів запобігання їх утворенню. Розробка практичних рекомендацій з інтенсифікації динамічних режимів відробки доліт.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертації доповідалися на: науково – технічній конференції професорсько – викладацького складу ІФДТУНГ (Івано – Франківськ, 1999 р.), 6-й міжнародній науково – практичній конференції “Нафта і газ України - 2000” (Івано-Франківськ, 2000 р.), наукових семінарах кафедри буріння нафтових і газових свердловин ІФДТУНГ (1998 – 2000 рр.). У повному обсязі дисертаційна робота доповідалась на засіданнях кафедри буріння нафтових і газових свердловин ІФНТУНГ (травень, листопад 2001 р.).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані у 9 наукових статтях і 2 тезах, одержано 2 патенти України на винахід.

Термінологія у дисертації, за виключенням відзначеної за текстом, є загальноприйнятою у науково – технічній літературі даного напрямку.

Автор щиро вдячний науковому керівнику, докт. техн. наук, професору Мислюку М. А. за цінні поради в науковій роботі. Автор вдячний генеральному директору ДК “Укргазвидобування” канд. техн. наук Рибичу І.Й. за допомогу в роботі, начальнику технологічного відділу БУ “Укрбургаз” канд. техн. наук Бойку П.Я. за надану інформацію про результати відробки доліт, головному інженеру Полтавського ВБР Андрусіву В.А. та співробітникам геологічного й економічного відділів Хрестищенського ВБР за сприяння в отриманні необхідної інформації.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі поданий аналіз показників роботи тришаршкових доліт на площах БУ "Укрбургаз" за 1992 - 2000 роки й охарактеризований сучасний стан технологій їх відробки та уявлень про динамічні процеси у бурильній колоні під час буріння.

У дисертації наведені дані про динаміку зміни об'ємів буріння, середніх глибин свердловин, середніх показників роботи тришаршкових доліт та їх найбільш використовуваних типорозмірів при роторному бурінні (у тому числі і з глибиною) в БУ "Укрбургаз" та його структурних підрозділах .

Аналіз показує, що з 1996 року спостерігається тенденція до збільшення об'ємів буріння. Середні глибини свердловин за аналізований період суттєво не змінюються, найбільша середня глибина свердловин у бурінні для Полтавського ВБР, найменша - для Стрийського ВБР. З 1997 року все більше починають застосовуватися долота імпортного виробництва (переважно російські), що характеризуються кращою, у порівнянні з вітчизняними, якістю опор.

Аналіз загальних показників роботи найбільш вживаних типорозмірів доліт виявляє стійкі тенденції до збільшення проходки на долото і часу роботи на вибої (особливо за останні роки) для кожного з ВБР і для підприємства в цілому. Разом з тим механічна швидкість проходки має тенденцію до зменшення (найбільшу - в Шебелинському ВБР, найменшу - в Полтавському ВБР).

Якість і надійність використовуваних на підприємстві тришаршкових доліт за останні роки покращали; аналіз наведених даних виявляє потребу у вдосконаленні технологій відробки доліт з метою забезпечення більш ефективного руйнування породи і, таким чином, підвищення показників їх роботи.

У дисертації наведено аналіз сучасного стану технологій відробки доліт та досліджень динамічних процесів під час поглиблення свердловини роторним способом. Обгрунтовано доцільність удосконалення технологій відробки доліт за рахунок статистичного аналізу їх показників та інтенсифікації динамічних режимів. Вказано на необхідність уточнення математичної моделі поздовжніх коливань з метою більш адекватного опису взаємодії долота з вибоєм. Така модель дозволить цілеспрямовано обгрунтувати способи реалізації бажаного динамічного режиму бурильного інструменту.

У **другому розділі** описана математична модель поздовжніх коливань у бурильній колоні, спричинених взаємодією озброєння тришарошкового долота з вибоєм при роторному бурінні.

Бурильна колона моделюється як система з розподіленими параметрами. Бурильні труби представлені у моделі як стержні з відповідними довжиною, площею поперечного перерізу, модулем пружності й густиною матеріалу. Поздовжні коливання в кожній з однорідних секцій труб описуються хвильовим рівнянням зі згасанням:

$$\frac{E_r}{\rho_r} \frac{\partial^2 u_r}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u_r}{\partial t^2} + 2\beta_r \frac{\partial u_r}{\partial t} - g, \quad (1)$$

де E_r, ρ_r, β_r – модуль пружності, густина матеріалу і коефіцієнт в'язкого тертя для r -ї однорідної секції; u_r – зміщення елемента r -ї секції з координатою x для часу t ; g – прискорення вільного падіння. За додатний напрям осі x , зміщень і сил вибрано напрям від гирла свердловини до вибою. У цьому ж напрямі нумеруються секції.

У даній моделі бурова установка розглядається як пружно-демпфуючий елемент з відповідними жорсткістю ξ_B і коефіцієнтом лінійного тертя β_B , за допомогою якого колона зв'язана з нерухомою земною поверхнею. У цьому припущенні верхня гранична умова буде виглядати так:

$$E_1 S_1 \left. \frac{\partial u_1}{\partial x} \right|_{x=0} = \xi_B u_1 \Big|_{x=0} + 2\beta_B \left. \frac{\partial u_1}{\partial t} \right|_{x=0}. \quad (2)$$

Граничні умови на r -му стику записані наступним чином :

$$u_r \Big|_{x=L_r} = u_{r+1} \Big|_{x=L_r},$$

$$E_r S_r \left. \frac{\partial u_r}{\partial x} \right|_{x=L_r} = E_{r+1} S_{r+1} \left. \frac{\partial u_{r+1}}{\partial x} \right|_{x=L_r} + \rho_p g L_r (S_{r+1} - S_r), \quad (3)$$

де L_r – координата нижнього кінця r -ї секції; S_r – площа поперечного перерізу r -ї секції; ρ_p – густина бурового розчину.

У моделі можуть бути включені амортизатори, які подаються як пружно-демпфуючі елементи з еквівалентними жорсткістю ξ_{A_j} і коефіцієнтом в'язкого тертя β_{A_j} , а також масою верхнього m_{1j} і нижнього m_{2j} рухомих елементів (j – порядковий номер амортизатора, рахуючи від гирла свердловини). Амортизатор, встановлений між секціями r та $r+1$, моделюється граничними умовами на стику цих секцій:

$$\begin{aligned}
& \left(-E_r S_r \frac{\partial u_r}{\partial x} \right) \Big|_{x=L_r} = \left(\xi_{A_j} (u_r - u_{r+1}) + \beta_{A_j} \left(\frac{\partial u_r}{\partial t} - \frac{\partial u_{r+1}}{\partial t} \right) + m_{1j} \frac{\partial^2 u_r}{\partial t^2} \right) \Big|_{x=L_r} + \rho_P g L_r S_r, \\
& \left(\xi_{A_j} (u_r - u_{r+1}) + \beta_{A_j} \left(\frac{\partial u_r}{\partial t} - \frac{\partial u_{r+1}}{\partial t} \right) \right) \Big|_{x=L_r} - \rho_P g L_r S_{r+1} = \\
& = \left(m_{2j} \frac{\partial^2 u_{r+1}}{\partial t^2} - E_{r+1} S_{r+1} \frac{\partial u_{r+1}}{\partial x} \right) \Big|_{x=L_r}.
\end{aligned} \tag{4}$$

В дисертації одержано граничну умову на долоті, яка має такий вигляд:

$$\begin{aligned}
& E_n S_n \frac{\partial u_n}{\partial x} \Big|_{x=L_n} + \rho_P g L_n S_n = \\
& = \xi_H (u_n|_{x=L_n} + \tilde{u}(t) + u_B(t) + u_0) + \beta_H \left(\frac{\partial u_n}{\partial t} \Big|_{x=L_n} + \frac{d\tilde{u}(t)}{dt} + \frac{du_B(t)}{dt} \right),
\end{aligned} \tag{5}$$

де ξ_H і β_H – узагальнені жорсткість і демпфування вибою; $\tilde{u}(t)$ – залежність від часу взаємного зміщення долота і поверхні вибою; $u_B(t)$ – періодична функція, яка моделює вибоїни; u_0 – статичне зміщення поверхні вибою від дії осьового навантаження на долото. Функція $\tilde{u}(t)$ отримана на основі числового розв’язку кінематичної задачі про вертикальні переміщення долота при взаємодії з абсолютно твердим вибоєм.

Особливістю постановки задачі (1) – (5) є уточнення граничної умови на долоті, яка більш повно враховує вплив кінематики тришарашкового долота, форми поверхні вибою, пружних і в’язких властивостей порід та інших факторів на динамічні режими системи “бурильна колона-долото-вибій” при поздовжніх коливаннях.

Система рівнянь (1) з граничними умовами (2) – (5) є лінійною неоднорідною системою рівнянь з лінійними неоднорідними граничними умовами. Для отримання її розв’язку застосовані числові методи з використанням ЕОМ.

Для розв’язання даної системи використано метод комплексних змищень. Суть методу полягає у тому, що розв’язок задачі шукається у вигляді

$$u = B e^{i(\omega t - kx)}.$$

Дійсне зміщення U виражається через комплексне зміщення u
 $U = \text{Re}(u)$.

Тут введені такі позначення: B – комплексна амплітуда; $\omega = \Omega + i\gamma$ – комплексна частота, що містить інформацію про дійсну частоту Ω і згасання коливань у часі γ ; аналогічно $k = K + i\eta$ – комплексний хвильовий вектор

(хвильове число); $K = \frac{2\pi}{\lambda}$ – дійсне хвильове число (λ – довжина хвилі); η –

величина, що відображає згасання хвиль при поширенні їх по колоні. У дисертації описано методику розв'язання системи рівнянь (1) з граничними умовами (2) – (5) і наведені формули для розрахунку основних динамічних характеристик колони.

У цьому ж розділі подані аналітичні вирази, що дозволяють наближено оцінити вплив деяких елементів бурильної колони на генерацію та поширення поздовжніх хвиль.

Третій розділ присвячений дослідженню впливу різних елементів бурильної колони і природних факторів на її динамічні характеристики у процесі поглиблення свердловини тришаршковими долотами.

Розраховано динамічні характеристики найбільш вживаних у БУ “Укрбургаз” типорозмірів тришаршкових доліт. Розрахунок здійснений на основі параметрів геометрії озброєння, виміряних автором на бурмайданчиках Хрещищенського та Стрийського ВБР.

Наведено умови, яким повинні задовольняти оптимальні динамічні режими:

- інтенсивність коливань сили є такою, що не призводить до прогресивного зносу озброєння та опор долота;

- коливання локалізовані у нижніх частинах колони (бажано - в області долота) і слабо проникають у верхні частини колони;

- коливання повинні бути досить високочастотними. Частота коливань повинна значно перевищувати потроєну частоту обертання колони для запобігання утворенню вибоїн і частоти перших гармонік власних коливань колони для запобігання резонансу колони і розвитку інтенсивних низькочастотних коливань (частоту власних коливань колони можна наближено оцінити відношенням швидкості звуку в сталі до довжини колони).

Досліджені два пасивних способи інтенсифікації динамічних режимів роботи доліт, які ґрунтуються на використанні різних фізичних явищ. Перший полягає у використанні явища відбивання хвиль від стику двох секцій труб з різними хвильовими властивостями (найчастіше - площами поперечного перерізу). Пристрої, робота яких базується на цьому явищі, називають відбивачами. Другий спосіб ґрунтується на використанні маятниковоподібних коливань зв'язаної жорстко з долотом порівняно невеликої маси, що рухається під впливом сил пружності вибою та амортизатора. Такі компоновки доцільно називати маятниковими.

Аналіз амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) різних бурильних колон дозволив зробити наступні висновки.

1. Навіть найпростіші колони, що складаються всього з однієї однорідної секції труб, мають дуже нерівномірну АЧХ.
2. АЧХ найпростішої колони містить періодично розташовані максимуми, що є наслідком відбивання хвиль від верхнього і нижнього кінців колони (найпростіша колона працює як відбивач).
3. Чим коротша колона, тим рідше розташовані максимуми на АЧХ і тим більша їх інтенсивність. Невелике додаткове дослідження показує, що інтенсивність максимумів сили зростає також при збільшенні поперечного перерізу секції.
4. ОБТ в складі колони працює як відбивач. Наявність ОБТ суттєво впливає на динамічні характеристики колони.
5. Часті максимуми на рис. 1 обумовлені наявністю довгої секції бурильних труб, а періодичне їх підсилення – наявністю відносно короткої секції ОБТ, що виступає в ролі відбивача.

На підставі аналізу динамічних характеристик відбивачів показано, що запропонований М.О.Жидовцевим та В.І. Мельниковим для турбінного буріння одноступеневий відбивач при бурінні роторним способом малоефективний. Розкрито фізичні основи роботи відбивачів. Доведено, що у випадку твердого вибою у ступенях відбивача формуються стоячі хвилі, причому на довжину ступеня припадає чверть довжини хвилі з цілим числом півхвиль. Вивчено залежність характеристик відбивачів (резонансні частоти, смуги підсилення) від технологічних та природних факторів. На цій підставі запропоновано різні схеми багаступеневих відбивачів (вони являють собою встановлені між долотом і ОБТ невеликі секції труб із різними хвильовими властивостями, що поперемінно чергуються) та методика оцінки їх параметрів з метою забезпечення бажаних динамічних характеристик. Показано, що відбивачі хвиль неефективні при бурінні м'яких порід. Вивчений вплив режимних параметрів на коливання сили на долоті при наявності відбивача.

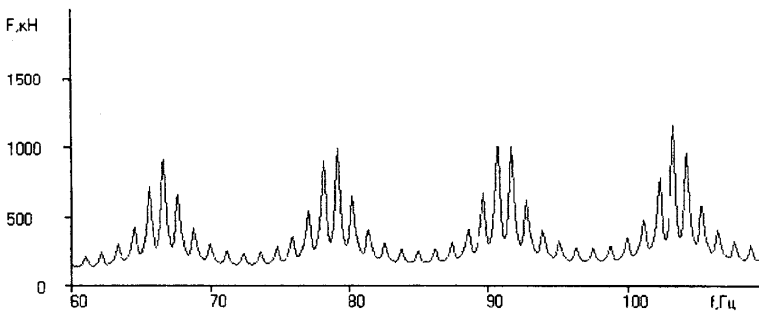


Рис.1. АЧХ сили на долоті для колони (215,9 С-ГВ; 200 м ОБТ-165; 2000 м ТБВ – 140). Жорсткість системи “долото-вибій” 40 МН/м

Виявлено, що частота обертання долота справляє суттєвий вплив на режим збудження відбивача (він може збуджуватися на різних резонансних частотах).

Суттєва інтенсифікація коливань сили на долоті спостерігається при встановленні між бурильними трубами та ОБТ шліцевого з'єднання (рис. 2) або амортизатора невеликої жорсткості. У цьому випадку збільшується відбивання хвиль від верхнього кінця секції ОБТ.

При дослідженні компоновок з нижнім положенням амортизатора виявлено, що невелика секція ОБТ, встановлена між амортизатором і долотом, при бурінні твердих порід за динамічними характеристиками нагадує багатоступеневий відбивач (рис. 3).

При зменшенні жорсткості вибою така компоновка втрачає риси відбивача і коливання підамортизаторної маси все більше починають нагадувати коливання пружинного маятника (показано на основі аналізу АЧХ). При бурінні м'яких порід маятниковий ефект спостерігається й у випадку встановлення амортизатора безпосередньо над долотом (роль маятника тут відіграє маса долота в сумі з масою нижньої рухомої частини амортизатора).

Таким чином, компоновка з амортизатором і порівняно невеликою підамортизаторною масою є універсальною в сенсі інтенсифікації динамічного режиму роботи долота: при малих значеннях жорсткості вибою вона функціонує як маятникова, при великих – набуває властивостей відбивача. Для уточнення сфер можливого застосування відбивачів і маятникових компоновок доцільно зробити коротке порівняння їх динамічних характеристик.

1. Відбивачі ефективні лише при великих значеннях жорсткості “долото-вибій”, і тому застосування їх може бути доцільним при бурінні твердих порід. Маятникові компоновки, навпаки, забезпечують підсилення поздовжніх коливань для порід малої жорсткості. У разі частої непередбачуваної зміни жорсткості порід з глибиною доцільно застосовувати маятникові компоновки з короткою секцією ОБТ під амортизатором, оскільки

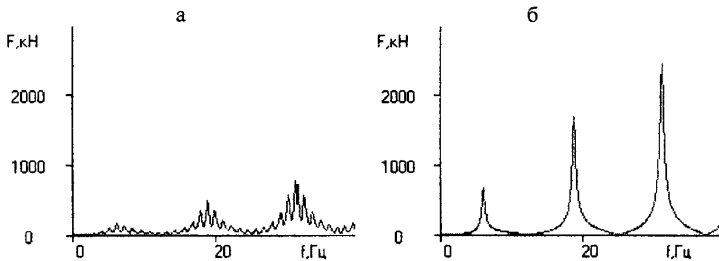


Рис. 2. Залежність динамічного режиму роботи долота від наявності шліцевого з'єднання між бурильними трубами і 200 м ОБТ-165 для твердих порід: а - відсутність шліцевого з'єднання, б - наявність шліцевого з'єднання

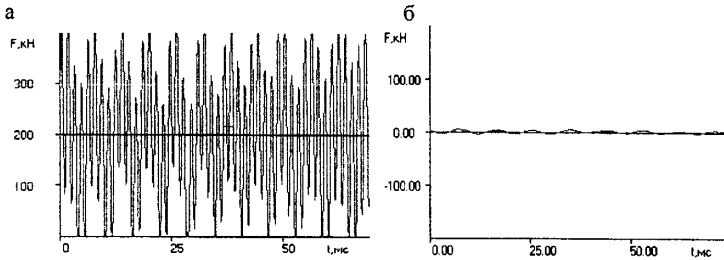


Рис. 3. Коливання сили на долоті (а) і динамічної складової сили в надамортизаторних секціях колони (б) при застосуванні відбивача з амортизатором (відбивач являє собою встановлену між долотом та амортизатором секцію ОБТ–165 довжиною 8 м; долото ТЗ-ГВР–40М; частота обертання 80 об/хв)

при великих значеннях жорсткості вони будуть функціонувати як відбивачі.

2. Частоти підсилюваних відбивачами коливань порівняно з такими для маятникових компоновок значно вищі. Тому ефективність відбивачів зростає при збільшенні частоти обертання долота, що може зробити доцільним їх застосування, наприклад, при бурінні з допомогою турбобурів та електробурів.

3. Характеристики підсилюваних відбивачами коливань у більшій мірі, ніж для маятникових компоновок, залежать від геометрії озброєння долота і параметрів режиму буріння (внаслідок наявності множинних резонансних частот) і менше – від параметрів вибою. Частота коливань для маяткової компоновки залежить також і від параметрів вибою.

Вивчено вплив дисипативних параметрів вибою на динамічні характеристики відбивачів та маятникових компоновок. Встановлено, що маятникові компоновки дуже чутливі до демпфування і при бурінні порід зі значними демпфуючими властивостями (загальне демпфування вибою більше $5 \text{ кН}\cdot\text{с/м}$) неефективні. Щодо багатоступеневих відбивачів, а також тих випадків, коли компоновка з нижнім положенням амортизатора виконує функції відбивача, то при зростанні демпфування підсилювальні властивості компоновки спочатку дещо зменшуються, а потім починають зростати, при цьому різко змінюється характер АЧХ, що супроводжується розширенням смуг підсилення, і як наслідок – коливання сили на долоті набувають дуже неправильної форми.

У рамках запропонованої моделі вивчено вплив нерівностей на вибої (вибоїн) на динаміку бурильної колони. Встановлено, що навіть незначні вибоїни (глибиною кілька міліметрів) можуть при певних поєднаннях режимних параметрів викликати інтенсивні низькочастотні коливання бурильного інструменту. Показано, що встановлення у колоні амортизатора

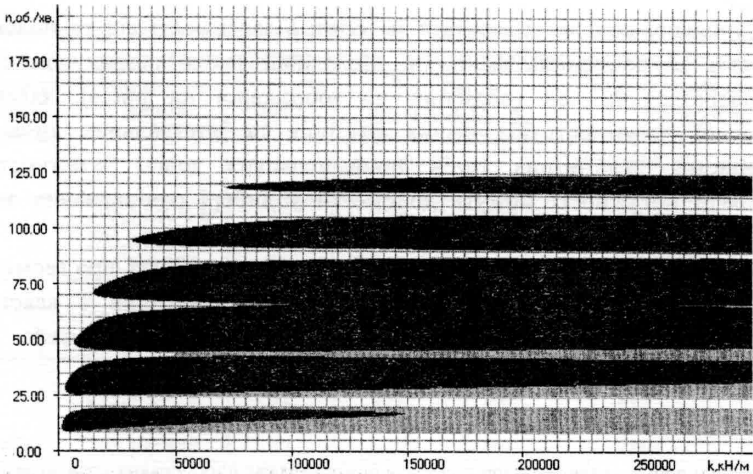


Рис. 4. Діаграма вибоїнебезпечних областей для КНБК: 215,9 С-ГВ; 200 м ОБТ-165; 2000м ТБВ-140 (темнішим кольором позначені області, більш небезпечні щодо утворення вибоїв)

значно зменшує інтенсивність обумовлених ними коливань. Сформульовано умови утворення і поглиблення вибоїв та умови їх руйнування. На основі аналізу спеціальних діаграм (одна з яких наведена на рис.4) запропоновано методичку оцінки значень частоти обертання долота, при яких вибоїни не повинні утворюватися, а вже існуючі мали б руйнуватися.

У **четвертому** розділі подано практичні рекомендації з вибору раціональних типів доліт та режимних параметрів на основі статистичного аналізу промислових даних про результати відробки доліт, а також результатів моделювання поздовжніх коливань у бурильній колоні при бурінні.

Описані програми для статистичного аналізу баз даних про результати відробки доліт, які є в БУ “Укрбургаз” та у ВАТ “Укрнафта”, подано їх короткі структурні схеми. Програми дозволяють формувати вибірки даних, знаходити середні значення показників та критеріїв відробки, виконувати їх статистичне порівняння, а також проводити регресійний аналіз сформованих вибірок з метою вибору оптимальних режимних параметрів. Програми передані в БУ “Укрбургаз” та ВАТ “Укрнафта”.

Описаний програмний пакет для моделювання поздовжніх коливань у бурильній колоні, що виникають внаслідок взаємодії тришарошкового долота з вибоєм під час буріння. Робота програми ґрунтується на запропонованій математичній моделі поздовжніх коливань. Програма дозволяє розраховувати залежність від часу, спектри й АЧХ сили та зміщення на долоті і в будь-якій

точці бурильної колони та вивчати їх зміни в залежності від технологічних параметрів та природних факторів. Можливий також розрахунок діаграм вибоїнонебезпечних зон (подібних до зображеної на рис.4), залежності коливальної потужності від різних факторів та інтегральних динамічних характеристик для різних типів тришарошкових доліт. Залежності для коливальної потужності можуть допомогти у виборі раціональних значень технологічних параметрів, що допускають плавну зміну.

Пакет програм забезпечений внутрішніми базами даних про геометричні характеристики озброєння доліт, параметри амортизаторів і властивості матеріалів бурильних труб. Має зручний і доступний інтерфейс. Пакет переданий у БУ "Укрбургаз" для експлуатації.

Таблиця 1

Економічно доцільні типорозміри доліт для розбурювання порід деяких стратиграфічних підрозділів Яблунівського ГКР

Стратиграфічний підрозділ	Рекомендований типорозмір долота	Кількість доліт	Вартість 1 м проходки, грн/м	Середня вартість 1 м проходки по всіх долотах, грн/м
QNP	393,7 МЦ-ГВ	2	69	293
	295,3 МС-1 В	6	162	
K2	295,3 МС-ГВ	6	134	170
	393,7 МЦ-ГВ	3	165	
K1	295,3 МС-ГВ	3	200	211
J3	295,3 М-ГВ R-187	4	198	316
	295,3 МС-ГВ	8	206	
J2	295,3 М-ГВ R-187	2	276	435
	295,3 МС-ГВ	5	326	
Тгл	295,3 МС-ГВ	14	259	475
	295,3 С-ГВ	10	168	
Тп	295,3 С-ГВ	6	176	379
P2	295,3 МС-ГВ	13	319	713
	215,9 МС-ГНУ	2	215	
P1	295,3 С-ГВ	5	284	598
С3	295,3 МС-ГВ	4	250	393
	295,3 С-ГНУ	5	387	
С2m	295,3 МС-ГВ	16	394	654
	215,9 С-ГВ	3	293	
С2b	295,3 МС-ГВ	9	449	1022
	215,9 С-ГВ	8	577	
С1v	215,9 С-ГВ	32	891	1603
	215,9 С3-ГАУ	6	851	
	215,9 С-ГВ R-162	4	550	

Таблиця 2

Рекомендовані режимні параметри для деяких типорозмірів доліт при розбурюванні порід деяких стратиграфічних підрозділів Яблунівського ГКР

Стратиграфічний підрозділ	Типорозмір долота	Кількість доліт	Вартість 1м проходки, грн/м		Рекомендовані режимні параметри	
			фактична середня	прогнозна	навантаження на долото, кН	частота обертання, об/хв
Тгд	295,3 МС-ГВ	14	259	169	180	90
P2	295,3 МС-ГВ	13	319	253	180	90
	295,3 С-ГНУ	12	569	245	200	70
J3	393,7 МЦ-ГВ	11	425	318	140	70
С2ш	295,3 МС-ГВ	16	594	493	220	120
	295,3 С-ГНУ	24	652	400	200	70
С1v	295,3 СЗ-ГВ	19	1161	825	200	100
	215,9 С-ГВ	32	891	539	200	110
	295,3 С-ГНУ	17	1534	1027	220	50
	295,3 С-ГВ	13	1187	788	180	100

На основі аналізу даних про відробку доліт на Яблунівському ГКР запропоновано й передано в БУ “Укрбургаз” рекомендації з вибору раціональних типів доліт та значень частоти обертання і навантаження на долото при розбурюванні порід різних стратиграфічних підрозділів цього родовища. Основний зміст рекомендацій представлений в табл. 1 і 2.

На основі моделювання поздовжніх коливань запропоновані раціональні типорозміри доліт, частота обертання долота та місце встановлення амортизатора НАБ-240 при бурінні свердловини №61 Скоробагатьківського ГКР. У табл. 3 наведені показники роботи доліт на вказаній свердловині у порівнянні з такими для інших свердловин того ж родовища.

Одержані значне збільшення механічної швидкості на свердловині №61 і деяке зменшення тривалості роботи доліт на вибої можуть свідчити про інтенсифікацію поздовжніх коливань сили на долоті.

Таблиця 3

Показники відробки доліт при бурінні свердловин Скоробагатьківського ГКР

Типорозмір долота	Проходка на долото		Тривалість роботи		Механічна швидкість	
	Св.№61	Інші*	Св. №61	Інші*	Св. №61	Інші*
295,3 МС-ГВ	114,5	71,6	21,9	32,5	5,19	2,27
295,3 МС-ГАУР116	145,7	33,0	61,0	60,2	2,33	0,79
295,3 С-ГНУР58	42,8	31,0	32,3	65,3	2,28	0,49

*Примітка. Маються на увазі свердловини №№ 55,56,57,58,59 в аналогічних геолого – технологічних умовах.

ВИСНОВКИ

У дисертації по-новому вирішена наукова проблема моделювання поздовжніх коливань у бурильній колоні, що виникають внаслідок взаємодії долота з вибоєм при бурінні тришарошковими долотами та вибір типу долота і значень режимних параметрів на основі статистичного аналізу показників роботи доліт та результатів моделювання динамічних процесів.

Найважливіші результати дисертаційної роботи

1. Наведені результати статистичного аналізу показників роботи тришарошкових доліт при роторному бурінні на площах БУ “Укрбургаз” за 1992-2000 роки.

Аналіз показує, що за даний період також спостерігається тенденція витіснення вітчизняних доліт деяких типорозмірів аналогічними імпортними. Це є одним із суттєвих чинників, які сприяють зростанню середніх показників проходки та стійкості доліт.

2. Удосконалена математична модель поздовжніх коливань в бурильній колоні при роторному бурінні тришарошковими долотами, яка більш адекватно враховує взаємодію долота з вибоєм свердловини. Особливістю і основною відмінністю даної моделі від запропонованих раніше є те, що всі характеристики коливань у її рамках отримуються при розрахунку, а не задаються як наперед відомі (наприклад, зміщення долота чи сила на ньому як у більшості моделей, запропонованих раніше).

Побудовані наближені аналітичні вирази для коефіцієнтів відбивання, пропускання та поглинання поздовжніх хвиль елементами бурильної колоні. Одержані формули для оцінки генерації коливальної енергії при взаємодії долота з вибоєм та уточнені умови ефективної генерації коливань. Встановлено, що залежність коефіцієнта поглинання коливальної енергії амортизатором від коефіцієнта демпфування амортизатора при певних його значеннях характеризується максимумом. Зокрема, для амортизатора НАБ-240, встановленого між секціями ОБТ-203, максимум (з коефіцієнтом поглинання, близьким до 0.5) відповідає значенням коефіцієнта демпфування 300-500 кН*с/м.

У залежності від умов і режимно-технологічних параметрів буріння досліджені динамічні характеристики КНБК (гладких, з відбивачем, з амортизатором, зі шліцевим з’єднанням). Виявлено, зокрема, що ефективність відбивачів зростає при збільшенні жорсткості системи “долото-вибій” і їх доцільно застосовувати при значеннях жорсткості не менше 100 МН/м. Вищою є ефективність багатоступеневих відбивачів, причому вона зростає зі збільшенням частоти обертання. При значеннях жорсткості “долото-вибій”, менших за 100 МН/м, ефективне застосування компоновок з амортизатором.

Встановлено виникнення у відбивачі режиму стоячих хвиль, причому на довжину його секції припадає чверть хвилі з цілим числом півхвиль. На підставі цього запропоновано вибір довжин секцій відбивача з заданими частотними характеристиками.

Встановлення між ОБТ та бурильними трубами шліцевого з'єднання підвищує інтенсивність коливань сили на долоті приблизно у два рази, причому підсилення спостерігається як для твердих, так і для м'яких порід.

3. В рамках запропонованої моделі досліджені деякі аспекти утворення і поглиблення вибоїн та вплив їх на динамічний режим бурильної колони. Зокрема підтверджено, що наявність вибоїн спричиняє інтенсивні низькочастотні коливання (частоти близько 2...6 Гц) бурильної колони по всій її довжині.

Вперше отримані діаграми вибоїнонебезпечних зон у координатах “жорсткість вибою - частота обертання”. На основі аналізу цих діаграм показано, що існують такі частоти обертання бурильної колони, при яких вибоїни є нестійкими. Обґрунтовані шляхи зменшення шкідливого впливу вибоїн на роботу бурильного інструменту (вибір частоти обертання, типу КНБК та ін.).

4. Розроблена методика статистичного аналізу результатів відробки доліт з метою прийняття раціональних рішень з їх відробки. Побудовані алгоритми і пакет програм для вибору раціональних типів тришарошкових доліт та режимних параметрів (осьового навантаження і частоти обертання).

Пакет програм включений у бази даних з відробки доліт БУ “Укрбургаз” і ВАТ “Укрнафта”.

5. Розроблені алгоритми і побудована комп'ютерна програма для моделювання динамічних характеристик системи “бурильна колона – долото - вибій”. На підставі аналізу результатів моделювання поздовжніх коливань запропоновані принципи вибору технологічних рішень з інтенсифікації динамічних режимів відробки доліт шляхом підбору параметрів КНБК та режиму буріння.

Запропонована методика інтенсифікації динамічних режимів роботи тришарошкових доліт апробована при бурінні св.№61 Скоробагатьківського ГКР з позитивними результатами.

6. Розроблені і передані для впровадження в БУ “Укрбургаз” практичні рекомендації з вибору раціональних типів доліт, частоти обертання та навантаження на долото при розбурюванні порід різних стратиграфічних підрозділів Яблунівського ГКР. Очікуваний середній економічний ефект від впровадження на одну свердловину за найбільш надійними даними становить 630 тис. гривень.

ПУБЛІКАЦІЇ ПО РОБОТІ

1. Рибчич І.Й., Мислюк М.А., Василюк Ю.М. Аналіз показників відробки тришарошкових доліт// Нафтова і газова промисловість. - 1999. -№3.- С. 18 - 22.
2. До аналізу показників відробки бурових доліт / Мислюк М.А., Василюк Ю.М., Рибчич І.Й., Стефурак Р.І. // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ.–Вип.36 (том 2, том 3).– Івано-Франківськ, 1999. – С. 13-14.
3. Мислюк М.А., Василюк Ю.М., Рибчич І.Й. До оцінювання динамічних процесів в бурильній колоні // Нафтова і газова промисловість.-2000.- №6.-С. 16 - 18.
4. Использование статистической информации для выбора рациональных типов шарошечных долот и режимов их обработки/ М.А. Мыслюк, Ю.М. Василюк, И.И. Рыбчич, Р.И. Стефурак // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2000.- №8-9.- С. 6-8.
5. О моделировании динамических процессов в нижней части бурильной колонны / М.А. Мыслюк, Ю.М. Василюк, И.И. Рыбчич, Р.И. Стефурак // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2000.- №10.- С. 6-10.
6. Василюк Ю.М. До оцінки впливу деяких технологічних параметрів на динамічні процеси в бурильній колоні // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ / Державний міжвідомчий науково-технічний збірник. – №38. – Том 2. – Івано-Франківськ, 2001. – С. 35-41.
7. Анализ показателей обработки трёхшарошечных долот на площадях бурового управления Укрбургаз / И.И. Рыбчич, М.А. Мыслюк, Ю.М. Василюк, Р.И. Стефурак // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2002.- №1.- С. 16-18.
8. Об одной причине образования ухабов на забое в процессе бурения скважин трёхшарошечными долотами / М.А. Мыслюк, Ю.М. Василюк, И.И. Рыбчич, Р.И. Стефурак // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2002.- №1.- С. 30-33.
9. Патент України 38717 А, МКП 6Е21В 17/07 Бурильна колона / Мислюк М.А., Василюк Ю.М., Стефурак Р.І., Рибчич І.Й. – заявл. 01.09.2000. Опубл. 15.05.2001. Бюл. 4.
10. Патент України 38718 А, МКП 6Е21В 17/07 Бурильна колона / Мислюк М.А., Василюк Ю.М., Стефурак Р.І., Рибчич І.Й. – заявл. 01.09.2000. Опубл. 15.05.2001. Бюл. 4.

- 11.Василюк Ю.М. До оцінки впливу компоновки низу бурильної колони на поздовжні коливання долота // Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу ІФДТУНГ.-Івано-Франківськ, 1999.- С. 115 – 117.
- 12.Про інтенсифікацію динамічних режимів роботи шарошкових доліт / М.А. Мислюк, Ю.М. Василюк, І.Й. Рибчич, Р.І. Стефурак // Матеріали 6-ої міжнародної наук.-практ. конференції “Нафта і газ України - 2000”. – Івано-Франківськ, 2000.- С. 20 – 23.
- 13.Вибір типів доліт на основі результатів їх відробки / М.А. Мислюк, І.Й. Рибчич, Р.І. Стефурак, Ю.М.Василюк // В кн.: Мислюк М.А., Рибчич І.Й., Яремійчук Р.С. Буріння свердловин. Т.ІІ. Промивання свердловин. Відробка доліт. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2002. – С. 168-172.

АНОТАЦІЯ

Василюк Ю.М. Вплив динамічних процесів у бурильній колоні на роботу тришарошкових доліт - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.10 - Буріння свердловин. - Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2002.

Дисертація присвячена покращенню технології відробки тришарошкових доліт шляхом вибору оптимальних типів доліт та значень режимних параметрів на основі статистичного аналізу промислових даних та аналізу результатів моделювання поздовжніх коливань в бурильній колоні при поглибленні свердловини.

Удосконалена математична модель поздовжніх коливань в бурильній колоні, які виникають внаслідок взаємодії тришарошкового долота з вибоєм під час буріння.

Досліджені динамічні характеристики коливальної системи “бурильна колона-долото-вибій” для різних типорозмірів тришарошкових доліт, КНБК та характеристик вибою.

Розроблені практичні рекомендації з вибору типів доліт, навантаження на долото та частоти обертання при розбурюванні порід різних стратиграфічних підрозділів Яблунівського ГКР.

Основні результати дисертації впроваджені в практику буріння.

Ключові слова: відробка тришарошкових доліт, бурильна колона, поздовжні коливання, динамічний режим роботи долота, математична модель поздовжніх коливань, багатоступеневий відбивач, амортизатор, пакети програм.

АННОТАЦИЯ

Василюк Ю.М. Влияние динамических процессов в бурильной колонне на работу трехшарошечных долот. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.10 - Бурение скважин. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2002.

Диссертация посвящена усовершенствованию технологии отработки трехшарошечных долот путем выбора оптимальных типов долот и значений параметров режима бурения на основании статистического анализа данных о работе долот, а также результатов моделирования продольных колебаний в бурильной колонне.

Приведены результаты анализа показателей работы трехшарошечных долот на площадях бурового управления «Укрбургаз» за 1991 – 2000 гг. Показано, что рост проходки на долоте и времени работы его на забое обусловлены использованием импортных долот, а не улучшением технологии отработки.

Усовершенствована математическая модель продольных колебаний в бурильной колонне, возникающих вследствие взаимодействия шарошечных долот с упруго-вязким забоем, которая учитывает влияние основных природных, технических и технологических факторов (свойства забоя, параметры режима бурения, тип КНБК, геометрия вооружения долота и др.) на колебательный режим в произвольных частях колонны. Модель предназначена для расчета динамических характеристик (смещения и силы в произвольных сечениях колонны, АЧХ и спектров смещения и силы), энергетических характеристик колебаний при бурении шарошечными долотами и реализована в виде пакета программ для ПЭВМ.

Исследованы динамические характеристики колебательной системы «бурильная колонна-долото-забой» и изучено влияние основных факторов (упругие и вязкие свойства забоя, типоразмер используемого долота, параметры режима бурения, тип КНБК) на динамический режим в различных сечениях колонны и на долоте. Показано, что предложенные ранее волновые отражатели обладают низкой эффективностью при роторном способе бурения. Для разбуривания твёрдых пород предложены многоступенчатые отражатели. Колебательный режим работы отражателя очень чувствителен к частоте вращения ротора.

Установлено, что для бурения мягких и средних пород с возможными пропластками твёрдых наилучшими динамическими характеристиками обладает компоновка с амортизатором, в которой между амортизатором и долотом установлена небольшая (до 10 м) секция УБТ. Показано, что при

бурении мягких пород подамортизаторная масса в такой КНБК будет осуществлять колебания как одно целое за счет упругости забоя и амортизатора, а в случае твёрдых пород будет работать как волновой отражатель.

В рамках предложенной модели исследованы причины образования и углубления ухабов на забое. Подтверждено возникновение интенсивных низкочастотных продольных колебаний во всей колонне в случае наличия ухабов. Сформулированы условия образования, углубления и неустойчивости ухабов и на их основании получены диаграммы ухабоопасных зон в координатах “жёсткость забоя-частота вращения ротора”. Показано для КНБК без амортизатора наличие частот вращения, которым соответствует неустойчивость при произвольных характеристиках забоя. Предложен способ предотвращения образования ухабов путём выбора частоты вращения ротора.

Созданы пакеты программ для выбора типа долот, КНБК и параметров режима бурения на основании статистической обработки баз данных показателей отработки долот в БУ «Укрбургаз», а также на основании анализа результатов моделирования продольных колебаний с целью интенсификации динамических режимов работы долот. Разработаны рекомендации по их применению в практике бурения.

Разработаны практические рекомендации по выбору типов долот, нагрузки на долото и частоты вращения при разбуривании пород различных стратиграфических разделов Яблуновского ГКМ.

Основные результаты диссертации внедрены в практику бурения.

Ключевые слова: отработка трехшарошечных долот, бурильная колонна, продольные колебания, динамический режим работы долота, динамические характеристики, математическая модель продольных колебаний, многоступенчатый отражатель, амортизатор, пакеты программ.

THE SUMMARY

Vasiliuk Yu.M. Influencing of dynamic processes in a drill string on operation of tricone rock bits. - Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.15.10 - Hole Cutting. - Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas. Ivano-Frankivsk, 2002.

The thesis is dedicated to increase of efficiency of destruction of rock by roller bits by effect on it of energy of longitudinal vibrations.

The mathematical model of longitudinal vibrations in a drilling string arising owing to interplay of roller bits with elastic-tenacious working face is advanced which one allows for influencing basic natural, technical and technology factors.

The response curves of a vibratory system a drilling string-bit-face are investigated and influencing major factors on a dynamic behaviour in different sections of a string and on a bit is studied.

The practical guidelines are designed selection (!at the choice of) phylums of chisels, bit weight and rotating speed at drilling over of formations of different stratum partitions of Yablunivske gas condensate field.

The base outcomes of a thesis are inserted in drilling practice.

Key words: improvement of cone rock bits, drill string, longitudinal vibrations, mathematical model of longitudinal vibrations, multistage reflector, shock-absorber, software packages.

**НТБ
ІФНТУНГ**



as135