Техніка і технології

УДК 622.24.058
DOI: 10.31471/1993-9973-2022-3(84)-18-23

НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ КОЛОНИ ГНУЧКИХ ТРУБ У СКЕРОВАНИХ СВЕРДЛОВИНАХ

І. Ю. Мохній[1], І. І. Чудик[2]

[1]Філія "УГВ-СЕРВІС" АТ "Укргазвидобування"; м. Полтава, провулок Кустарний 10, кв.101, тел.+380675394929, e-mail: mox2308@gmail.com

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська,15; тел. +380679420573, e-mail: i.chudyk@nung.edu.ua

Акцентовано увагу на стратегічному завданні науки і виробництва – забезпеченні вітчизняної економіки власними енергетичними ресурсами та шляхах реалізації цього важливого завдання за рахунок власного потенціалу. Із врахуванням ступеня виснаження основних ресурсів нафти і газу вказується на дієвий шлях підвищення коефіцієнта нафтогазовилучення з продуктивних горизонтів шляхом застосування сучасних колтюбінгових технологій. Проведено аналіз закордонних і вітчизняних публікацій за проблематикою дослідження умов роботи довгомірних трубних колон у свердловинах різного типу просторового викривлення. Оцінено умови прохідності, ефективної і надійної їх роботи в стовбурі скерованої свердловини у широкому діапазоні зміни навантажень, які виникають від дії коливань, вібрацій, тертя до стінок свердловини і в'язкого бурового розчину, згину, кручення, впливу зовнішнього і внутрішнього тисків. Об'єктом дослідження даної публікації є колона гнучких труб у скерованій свердловині, а предметом дослідження – її завантаженість внаслідок осьового переміщення вздовж осі гірничої виробки. Проаналізовано можливість застосування колтюбінгових засобів і оцінено технологічні переваги та недоліки їх використання для буріння скерованих свердловин в Україні. Систематизовано методи дослідження сил притискання довгомірних трубних колон до стінок скерованої свердловини з врахуванням конструктивних і технологічних аспектів процесу та умов взаємодії колони труб зі стінками гірничої виробки. Встановлено, що з використанням наявного науково-методичного забезпечення є можливість проводити оцінку завантаженості колони гнучких труб при виконанні нею різноманітних технологічних операцій, які супроводжуються осьовим переміщенням вздовж осі скерованої свердловини.

Ключові слова: колтюбінгова технологія, стінка свердловини, напружено-деформований стан, буріння свердловини, осьове переміщення, гнучка колона труб.

Emphasis is placed on the historical institution of science and production, providing the domestic economy with its energy resources, and ways to implement this vital task at the expense of its potential. Considering the depletion of the primary resources of oil and gas, an effective way to increase the coefficient of oil and gas inclusion from productive horizons is indicated through modern coil tubing technologies. The publication's study object is a flexible drill stem in a directional well, and the subject of the study is its load due to axial movement along the axis of the mine. The possibility of using coil tubing means has been analyzed, and the technological advantages and disadvantages of their use for drilling directed wells in Ukraine have been estimated. Research methods of pressing forces of coiled tubing to walls of the directed well, taking into account constructive and technological aspects of the process and conditions of the interaction of a column of pipes with walls of mining, have been systematized. It has been established that with available scientific and methodological support, it is possible to estimate the load

of the flexible pipe column when performing various technological operations, which are accompanied by axial movement along the axis of the directed well.

Key words: coil tubing technology, well wall, stress-strain state, well drilling, axial displacement, flexible drill stem.

Вступ

Забезпечення власними енергетичними ресурсами є на сьогодні стратегічним завданням України. Одним із шляхів реалізації цього важливого завдання є освоєння вітчизняних нафтогазових ресурсів за рахунок ефективного використання існуючої та розбудови нової енергетичної інфраструктури основних нафтогазовидобувних регіонів держави. Це першочергово вимагає застосування новітньої високонадійної техніки і якісних технологічних підходів для освоєння нафтогазових покладів у найскладніших гірничо-геологічних умовах і невід'ємно пов'язано із спорудженням нових, ремонтом та інтенсифікацією роботи малодебітних свердловин із відповідним забезпеченням їх продуктивності та експлуатаційної надійності.

З теорії та практики нафтогазової інженерії відомо, що одним із найефективніших і найсучасніших методів підвищення коефіцієнта вилучення вуглеводнів із продуктивних горизонтів є застосування колтюбінгових технологій під час обробки привибійної зони продуктивних горизонтів з метою інтенсифікації припливу з них. Ці технології на сьогодні також використовують для ремонту свердловин старого фонду, буріння нових скерованих свердловин та прокладання їх бокових стовбурів.

Колтюбінгова колона характеризується гнучкістю і під час роботи у свердловині просторового типу піддається комплексній дії складних навантажень, які включать поєднання розтягуючої і стискаючої сил, згинного моменту, коливань та вібрації [1-11]. Їх загальний сумарний вплив на довгомірну трубну систему в свердловині за таких умов є суттєвим і визначає ефективність і успішність виконання нею різноманітних технологічних операцій.

Аналіз закордонних і вітчизняних публікацій за проблематикою досліджень

Проблематикою умов роботи трубних систем у свердловині займалось широке коло дослідників, серед яких М. М Александров, П. В. Балицький, Дж. Бейлі, Ю. С. Васильєв, В. І. Векерик, В. С. Владиславлєв, В. Гаррет, Я. С. Гриджук, В. Г. Григулецький, Г. Р. Голубєв, М. П. Гулізаде, Г.Ф. Дейлі, Д. В. Дерінг, Р. М. Ейгелес, С. Г. Калінін, В. Ю. Копилов, М. Р. Мавлютов, М. А. Мислюк, В. М. Мойсишин, Л. А. Новиков, Л. Є. Симонянц, В. В. Сімонов, О. І. Співак, Р. Б. Стрекалова, Б. З. Султанов, Є. В. Харченко, Т. Хуань, А. Ш. Янтурин, Є. К. Юнін та інші.

Попри сформовані дослідниками наукові основи та їх постійне системне вдосконалення питання ускладнень і аварій, а також порушення роботи гнучких труб (ГТ) при їх опусканні в свердловину, підніманні в процесі буріння чи під час ремонтних робіт залишається частими проблемами, які потрібно мінімізувати.

Основною умовою прохідності, ефективної і надійної роботи ГТ у стовбурі свердловини є чітка відповідність геометричних параметрів системи та дії комплексних навантажень на колону труб (коливання, вібрації, тертя до стінки свердловини, згин, кручення, дія зовнішнього і внутрішнього тисків). У конкретно визначених діапазонах скерованих свердловинах прохідність колони ГТ зменшується, виконання колтюбінгових операцій ускладнюється, а діючі на колону труб навантаження та виникаючі при цьому напруження зростають.

Тому для забезпечення ефективної роботи, підвищення надійності і довговічності експлуатації потрібно якісно прогнозувати і оцінювати межі їх допустимих навантажень, забезпечити вибір оптимальних конструкцій та режимних параметрів їх застосування з використанням відповідного високоточного науково-методичного потенціалу.

Все це вказує на актуальність досліджень, що спрямовані на оцінку напружено-деформованого стану ГТ у процесі спуско-підіймальних операцій (СПО)в свердловинах складних просторових профілів та вивчення технологічних умов її ефективної експлуатації при оптимальних режимах.

На основі наведеного вище сформульовано мету наукової публікації, яка полягає в окресленні проблемних науково-практичних аспектів технологічного використання ГТ у скерованих свердловинах та визначенні основних шляхів їх наукового вирішення. Для її реалізації пропонуються такі етапи дослідження:

– аналіз переваг та недоліків використання колтюбінгових технологій у скерованих свердловинах;

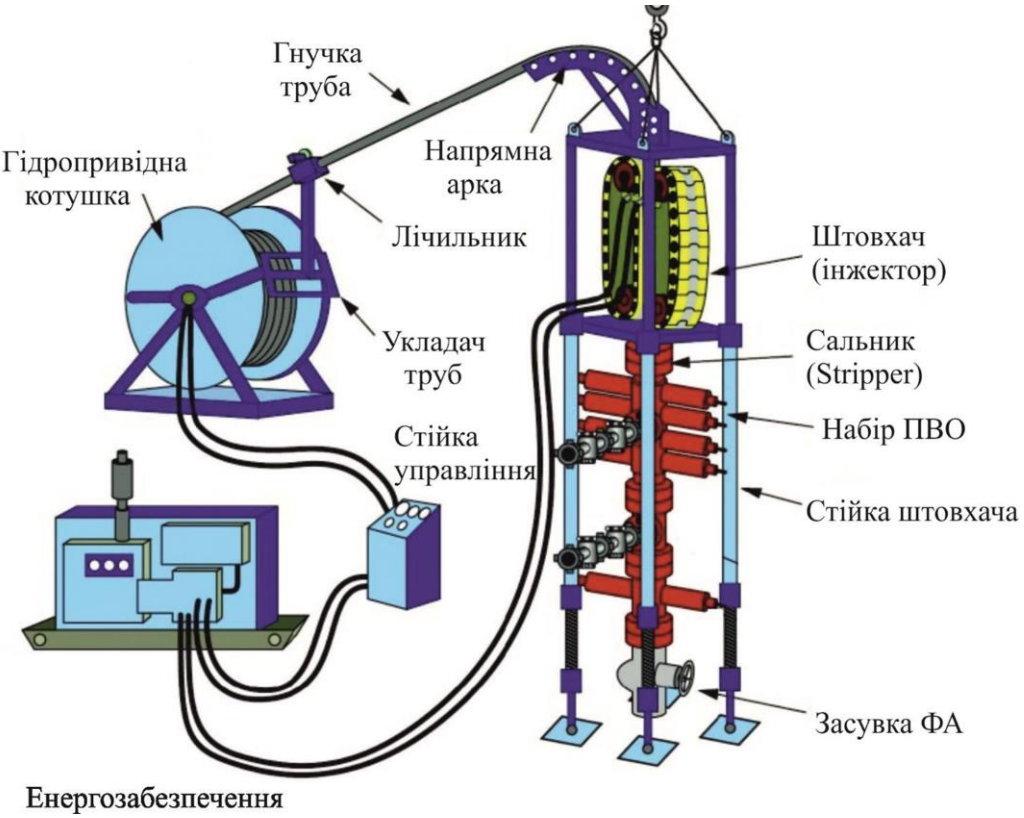

Рисунок 1 – Комплекс обладнання колтюбінгової свердловинної установки [6]

– систематизація методів дослідження сил притискання елементів ГТ до стінок свердловини;

– можливість оцінки завантаженості ГТ при виконанні нею різноманітних технологічних операцій, які супроводжуються осьовим переміщенням вздовж осі скерованої свердловини.

Для їх реалізації пропонується застосувати методи наукового аналізу інформації з проблемних аспектів технологічного використання ГТ в технологічних процесах спорудження, інтенсифікації та ремонту скерованих свердловин.

Об'єктом дослідження є ГТ у скерованій свердловині.

Предметом дослідження є навантаженість ГТ під час її осьового переміщення вздовж осі в скерованій свердловині.

Аналіз можливостей застосування колтюбінгових технологій у скерованих свердловинах

Основним елементом колтюбінгової системи є ГТ, без замків і з'єднань, навита на відповідний барабан машинної установки. Це забезпечує її ефективне згортання/розгортання, транспортування і управління роботою під час СПО та відповідних технологічних операцій [3, 5]. Колтюбінгова установка зазвичай випускається на самохідному шасі автомобіля або компонується з окремих блоків, які в комплексі забезпечують її повноцінне функціонування (рис. 1).

Колтюбінгові технології завдяки певному набору технологічних переваг сьогодні є найбільш високоефективними і затребуваними в процесах геофізичних досліджень, кислотних оброблень привибійної зони пластів, ремонтних та відновлювальних робіт в свердловинах довільних просторових профілів і великих глибин, особливо серед старого фонду зокрема [3-5]. Серед її переваг:

– можливість забезпечення високої герметичності устя під час виконання технологічних операцій;

– здатність до реалізації операцій з освоєння продуктивних горизонтів;

– не потребує попереднього глушіння свердловини для проведення в ній ремонтних робіт;

– скорочує час проведення підготовчих та фінальних операцій під час виконання технологічних операцій;

– придатна до буріння та виконання інших технологічних операцій з колоною ГТ у вертикальних, горизонтальних або сильно викривлених свердловинах;

ISSN 1993–9973 print
ISSN 2415–332X online

– сприяє покращенню умов праці виробничого персоналу під час буріння та ремонту свердловин;

– забезпечує екологічну безпеку шляхом зниження ризиків втрат пластових і технологічних рідин у закритій системі циркуляції.

Виконання колтюбінгових робіт у скерованих свердловинах з великою протяжністю стовбура (похило-скерований чи горизонтальний) є складним технічним завданням. Адже при опусканні ГТ у скеровану свердловину використовується виключно її власної вага, а для її піднімання – тягове зусилля колтюбінгового агрегату. Допоміжні прийоми чи засоби (обертання, вібрації чи проштовхування) не потрібні. При цьому верхня частина (або/чи вся ГТ) перебуває під дією розтягуючого, а нижня – під дією стискаючого осьового навантаження. Окрім цього, на них діють ще й сили опору навколишнього середовища, спрямовані в протилежному до переміщення колони труб напрямку.

На відміну від широко використовуваної колони бурильних труб, колтюбінгова ГТ не укомплектовується обважненими трубами у свердловинних умовах під дією стискаючого навантаження. Це призводить до втрати стійкості і набуття нею спіралеподібної форми [3, 5]. Сили тертя ГТ до стінок свердловини чи внутрішньої поверхні експлуатаційної колони зростають, що визначає зміни зусиль, необхідних для опускання чи піднімання ГТ, і призводить до виникнення непродуктивних енергетичних втрат на виконання технологічних операцій чи реалізацію певних процесів та знижує коефіцієнт корисної дії [8, 9].

Зважаючи на це, для зменшення опору осьового переміщення колони ГТ у стовбурі свердловини складного просторового профілю на практиці використовують такі підходи [3, 5, 7]:

– додавання змащувальних компонентів до промивальної рідини;

– застосування різних пристроїв: гідронавантажувачів Baker Hughes, DezhouS helf Oil Tools, Halliburton, National Oilwell-Varco, Schlumberger, Weatherford, YJ та опорно-центрувальних елементів;

– створення осьового навантаження на вибій горизонтальної свердловини за допомогою силового циліндра з поршнем при нерухомій БК за рахунок сил тертя;

– використання імпульсної дії на ГТ за допомогою гідроударників та хвильове збурення трубної колони.

Використання цих технологічних рішень із відповідною частотою,зазвичай, допомагає певною мірою вирішити проблему проходження колони ГТ у стовбурі свердловини, чим, забезпечить повноцінну реалізацію технологічного процесу.

Систематизація методів дослідження сил притискання елементів ГТ до стінок свердловини

Кількісна оцінка енерговитрат під час осьового переміщення колони ГТ у стовбурі свердловини можлива лише при чіткому уявленні про величини сил контактної взаємодії між трубами і стінками виробки, дослідженням яких займалося багато науковців [1, 6, 8,9 і ін.], якими було схематизовано загальну картину процесу.

Аналітичні розрахунки і експериментальні дослідження показали малу значущість даного фактору на тлі загальних втрат складової ваги ГТ по її довжині у свердловині [1, 6, 8-10 і ін.], величина якої визначається силами тертя металу труб до стінок виробки та молекулярною взаємодією (адгезійного зчеплення) між колоною і фільтраційною кіркою (ФК) [1, 10]. Також в даних дослідженнях не враховано низку чинників, які вносять неточності в математичні моделі і методи розрахунку сил опору колоні труб у свердловині і, відповідно, оцінки енерговитрат, зокрема характер площинної (а не точкової) взаємодії ГТ зі стінками свердловини та локальні викривлення її стовбура.

При дослідженні процесу осьового переміщення труб в стовбурі свердловини використовуються такі основні емпіричні закони тертя [1, 8-10 і ін.]:

- закон Амонтона:

$$F = \mu \cdot N\ ; \qquad (1)$$

- закон Кулона:

$$F = C + \mu \cdot N\ ; \qquad (2)$$

- закон Дерягіна:

$$F = \left(A_{dg} \cdot S_o + N\right) \cdot \mu\ , \qquad (3)$$

де μ – коефіцієнт тертя;

N – сила притискання труб до стінок свердловини;

C – складова сили тертя, яка не залежить від величини N;

A_{dg} – адгезій на міцність ФК на зсув;

S_0 – фактична площа контакту ГТ і ФК.

Зважаючи на складність визначення фактичної величини площі контакту труб із стінкою свердловини, покритої ФК, адгезійна складова сил опору на момент проведення досліджень [1, 8-10 і ін.] не була врахована, що обу-

мовило широке використання залежностей (2) і (3) і необхідність виведення нових залежностей, зокрема для визначення сили тертя при СПО [1, 10]:

$$F = 1.1 + 0.15N + 0.436N^{1.36}. \quad (4)$$

За результатами лабораторних експериментальних досліджень все ж було встановлено емпіричну залежність сили адгезійної взаємодії ФК і металу труб [1, 9] від сили її притискання до стінки свердловини:

$$F = 0.124 + 0.056N - 0.22h - \\ -0.296(N - 1.4)(h - 0.216), \quad (5)$$

де h – товщина ФК.

Проте, на основі експериментальних досліджень у лабораторних умовах було змінено залежність (5) шляхом введенням в неї таких параметрів, як N, S_0, A_{dg} та лобового опору при обтіканні колони труб буровим розчином $F_л$:

$$F = \mu N + AS_0 + F_л . \quad (6)$$

З часом у ході лабораторних експериментальних досліджень [8, 10 і ін.] за даним напрямком було встановлено низку закономірностей. Так, зусилля відриву металу від глинистої кірки є меншим, ніж для ГП; зусилля відриву для алюмінію є меншими, ніж для сталі; міцність структури ФК на зсув із глибиною свердловини зростає за рахунок її щільності; на сили адгезійної взаємодії металу труб колон ГТ і ФК впливають зменшення товщини кірки і контактного тиску до певної міри збільшення площі контакту і підвищення температури в свердловині.

Поглибленням досліджень у даному напрямку стало вивчення впливу мастильних домішок на опір тертя між колоною труб і стовбуром свердловини. Встановлено залежності для визначення величин Fі A_{dg} [1, 9, 10 і ін.]:

$$F = 735.5 - 14.17X_1 - 9.17X_3 - 30.42X_4 - \\ -15.62X_1X_2 - 13.12X_2X_3 - 24.37X_3X_4 - \\ -8.38X_2^2 + 29.11X_3^2 + 10.36X_4^2; \quad (7)$$

$$A_{dg} = 298 - 50.8X_1 - 20.42X_2 - 15.62X_2X_4 - \\ -37.67X_1^2 - 18.91X_3^2 + 12.67X_4^2, \quad (8)$$

де X_i – емпіричні коефіцієнти [10].

Узагальнюючи наведене, робимо висновок, що на умови роботи колони ГТ у свердловині з врахуванням найскладніших умов буріння (горизонтального стовбура) впливають низка основних чинників [1, 10 і ін.]: коефіцієнт тертя $k_{тр}$ труб до стінки свердловини; сили нормального тиску N в зоні контакту труби до стінки свердловини;сили опору $F_{св}$, обумовлені взаємодією труби із стінкою свердловини при її деформування під дією осьових сил; сила опору $F_{бк}$, обумовлена наявністю конструктивних особливостей поверхні ГТ; опір $F_{пр}$, обумовлений промивальною рідиною; $F_{ад}$ – адгезійна сила взаємодії колони ГТ з в'язкою фільтраційною кіркою; намагніченість гірської породи $F_н$.

Отже, рівнянням сили опору взаємодії колони ГТ з обмежуючим її простором є:

$$F\text{оп} = k\text{тр}\ N + F\text{св} + F\text{бк} + F\text{пр} + F\text{ад} + F\text{н} . \quad (9)$$

В роботі [11] при визначенні сили опору осьового переміщення труб у свердловині схиляються до думки щодо необхідності врахування сил адгезійного тертя в зоні контакту колони ГТ та стінок гірничої виробки:

$$F\text{оп} = k\text{тр}\ N + F\text{ад} . \quad (10)$$

Зважаючи на те, що дослідженнями доведено значний вплив на інтенсивність викривлення свердловини сили тертя (навіть за малих радіусів складають понад 30% від ваги колони ГТ), [11] їх об'єктивна оцінка стимулює пошук відповідних рішень для проєктування як конструкції, так і режимів експлуатації колони гнучких труб.

Висновки

Для досягненої мети дослідження окреслено проблемні науково-практичні аспекти технологічного використання ГТ у скерованих свердловинах та визначено основні шляхи їх наукового вирішення в межах окреслених задач, а саме:

1. Проведено аналіз технологічних переваг та недоліків використання колтюбінгових технологій у скерованих свердловинах, пов'язаних, насамперед, з експлуатацією колони гнучких труб у свердловинах складного просторового профілю.

2. Систематизовано методи дослідження сил притискання елементів трубних систем до стінок свердловини, зокрема ГТ з врахуванням конструктивних і технологічних аспектів процесу.

3. Встановлено, що з використанням наявного науково-методичного забезпечення є можливість оцінки навантаженості ГТ при виконанні нею різноманітних технологічних операцій, які супроводжуються осьовим переміщенням вздовж осі скерованої свердловини.

4. Заплановано подальші дослідження проблемних питань використання ГТ у процесах буріння, відновлення, освоєння та ремонту скерованих свердловин.

Література

1. Александров М. М. Силы сопротивления при движении труб в скважине. М.: Недра, 1978. 210 с.

2. Електронні ресурси компаній: Baker Hughes, Dezhou Shelf Oil Tools, Halliburton, National Oilwell-Varco, Schlumberger, Weatherford.

3. Зинатуллина Э. Я. Разработка управляемых в процессе бурения скважин колтюбинговых компоновок низа бурильной колонны: автореф. на соискание ученой ступени канд. техн. наук: спец. 05.02.13. „Машины, агрегаты и процессы". Уфа, 2009. 32 с.

4. Ньюман К. Рабочий ресурс непрерывной трубы (колтюбинга). *Время колтюбинга.* 2004. № 10. С. 48-52.

5. Поліник М. М., Ясюк В. М., Яремійчук Р. С. Колтюбінг в нафтогазовидобуванні. Львів: Центр Європи, 2014. 336 с.

6. Хузина Л. Б., Фаткуллин Р. Х., Шайхутдинова А. Ф., Фахрутдинов Ш. Х., Еромасов А. В. Промысловые испытания компоновки низа бурильной колонны с усиленной динамической нагрузкой на долото. *Территория* „*Нефте-Газ*". 2016. № 12. С. 20-24.

7. Coiled Tubing Technical Data. GT-100. Global Tubing, 2009.

8. Сароян А.Е. Теория и практика работы бурильной колонны. М.: Недра, 1990. 264 с.

9. Султанов Б. З., Ишемгужин Е. И., Шаммасов Н. Х., Сорокин В. Н. Работа бурильной колонны в скважине. М.: Недра, 1973. 216 с.

10. Шевцов В. Д. Исследование основных особенностей проявления адгезионных свойств глинистыми корками. Изв. *ВУЗов Нефть и газ*. 1968. № 10. С. 15-19.

11. Инструкция по бурению наклонно-направленных скважин с кустовых площадок на нефтяных месторождениях Западной Сибири: РД-39-0148070-6.027-88. Тюмень: Тюменское кн. издательство, 1986. 138 с.

References

1. Aleksandrov M. M. Silyi soprotivleniya pri dvizhenii trub v skvazhine. M.: Nedra, 1978. 210 p.

2. Elektroni resursy kompaniy: Baker Hughes, Dezhou Shelf Oil Tools, Halliburton, National Oilwell-Varco, Schlumberger, Weatherford.

3. Zinatullina E. Ya. Razrabotka upravlyaemyih v protsesse bureniya skvazhin koltyubingovyih komponovok niza burilnoy kolonnyi: avtoref. na soiskanie uchenoy stupeni kand. tehn. nauk: spets. 05.02.13. „Mashinyi, agregatyi i protsessyi". Ufa, 2009. 32 p.

4. Nyuman K. Rabochiy resurs nepreryivnoy trubyi (koltyubinga). *Vremya koltyubinga*. 2004. No 10. P. 48-52.

5. Polinyk M. M., Yasiuk V. M., Yaremiychuk R. S. Koltyubing v naftogazovidobuvanni. Lviv: Tsentr Evropy, 2014. 336 p.

6. Huzina L. B., Fatkullin R. H., Shayhutdinova A. F., Fahrutdinov Sh. H., Eromasov A. V. Promyislovyie ispyitaniya komponovki niza burilnoy kolonnyi s usilennoy dinamicheskoy nagruzkoy na doloto. *Territoriya „Nefte-Gaz"*. 2016. No 12. P. 20-24.

7. Coiled Tubing Technical Data. GT-100. Global Tubing, 2009.

8. Saroyan A.E. Teoriya i praktika rabotyi burilnoy kolonnyi. M.: Nedra, 1990. 264 p.

9. Sultanov B. Z., Ishemguzhin E. I., Shammasov N. H., Sorokin V. N. Rabota burilnoy kolonnyi v skvazhine. M.: Nedra, 1973. 216 p.

10. Shevtsov V. D. Issledovanie osnovnyih osobennostey proyavleniya adgezionnyih svoystv glinistyimi korkami. *Izv. VUZov Neft i gaz*. 1968. No 10. P. 15-19.

11. Instruktsiya po bureniyu naklonno-napravlennyih skvazhin s kustovyih ploschadok na neftyanyih mestorozhdeniyah Zapadnoy Sibiri: RD-39-0148070-6.027-88. Tyumen: Tyumenskoe kn. izdatelstvo, 1986. 138 p.