

УДК 622.245

М. Є. Чернова, канд. техн. наук; **Я. В. Кунцяк**, докт. техн. наук.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ОБВАЖНЕНИХ БУРИЛЬНИХ ТРУБ НА ОСНОВІ РОЗРОБКИ ВІТЧИЗНЯНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

Розглядається компоновка низу бурильної колони, елементи якої суттєво впливають на ефективність буріння нафтових і газових свердловин. Показано, що аварії з обважненими бурильними трубами відбуваються внаслідок низької межі витривалості замкових різьбових з'єднань та невірної оцінки по муфтовій та ніпельній частинах. З метою підвищення точності і якості виготовлення конструкції обважнених бурильних труб, а, відповідно, і їх довговічності розроблено технічні засоби для реалізації поставленої мети.

Ключові слова: компоновка, різьбове з'єднання, свердловина, межа витривалості.

Для буріння нафтових і газових свердловин використовується бурильна колона елементи якої працюють у складному напруженому стані при дії значних статичних і динамічних навантажень та корозійного середовища, що часто призводить до аварій та ускладнень в процесі буріння. Для створення навантаження на породоруйнівний інструмент та надання необхідної жорсткості низу бурильної колони в компоновку низу бурильної колони включають обважені бурильні труби, розміри та кількість яких залежить від конструктивних і технологічних особливостей свердловини. Згідно «ГОСТ 4543-71» обважені бурильні труби повинні виготовлятися із сталі марки 38ХНЗМФА та володіти наступними механічними властивостями: $\sigma_{0,2} = 736 \text{ МПа}$, $\Psi = 10\%$, $a_n = 0,6 \text{ МПа}$, твердість 285÷341 НВ. Дозволяється також виготовлення ОБТ зі сталі марки 40ХН2МА або інших марок сталі за умови, що вони володіють наступними механічними властивостями: $\sigma_{0,2} \geq 736 \text{ МПа}$, $\Psi \geq 10\%$, $a_n \geq 0,5 \text{ МПа}$, твердість не нижча за 255 НВ.

В Україні виготовляються також гарячекатані ОБТ із сталі марки Д довжиною 6,9 та 12 м. Гарячекатані ОБТ мають переваги перед збалансованими ОБТ тим, що мають більшу довжину, що прискорює спуско-підймальні операції та зменшує кількість замкових різьбових з'єднань у бурильній колоні, по яких в основному відбуваються корозійно-втомні руйнування. Проте, аналіз промислових даних показав, що ресурс гарячекатаних ОБТ значно нижчий ніж збалансованих ОБТ [1]. Так, наприклад, на нафтових підприємствах ПАТ «Укрнафта» при бурінні свердловин роторним способом перенарізання різьб гарячекатаних ОБТ проводиться через кожні 400 годин роботи, а збалансованих через 2500 годин.

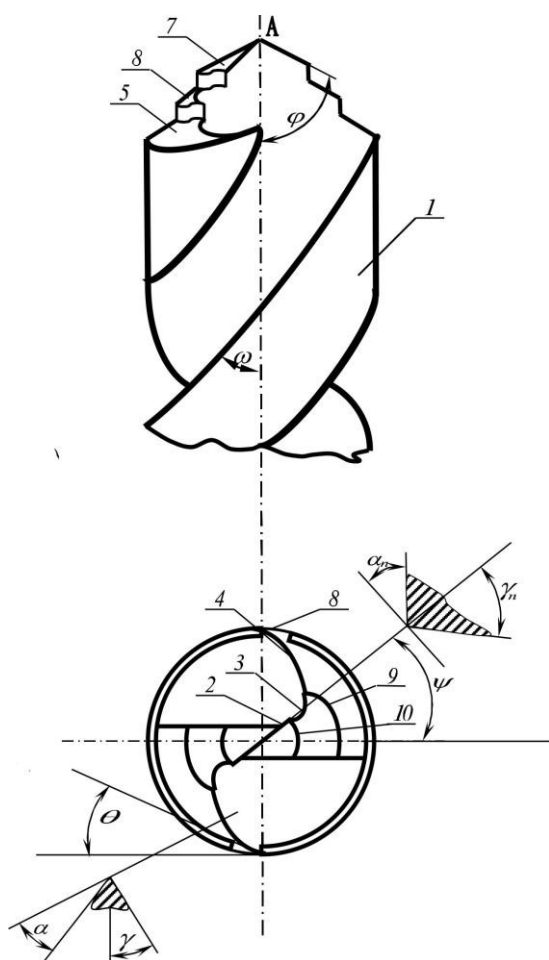
Експлуатаційні характеристики обважнених бурильних труб в основному визначаються опором втомі замкових різьбових з'єднань та якістю виготовлення труб (ступенем збалансованості, співвісністю, режимами термообробки, якістю захисного покриття та інше). Експериментальними дослідженнями на опір втомі натурних зразків замкових різьбових з'єднань ОБТ-178 і ОБТ-203 з різьбою з-147 (із збігом різьби) виготовлених із сталі 38ХНЗМФА встановлено, що межа витривалості замкових різьбових з'єднань в повітряному середовищі становить 39-41 МПа, а в корозійному середовищі (3% водний розчин) становить 28-31 МПа [1]. Відповідно, надзвичайно актуальними є роботи, що спрямовані на підвищення опору втомі замкових різьбових з'єднань та працездатності ОБТ.

До 1992 року основним виробником збалансованих обважнених бурильних труб (ОБТЗ) був Дрогобицький експериментальний механічний завод спеціального обладнання, який виготовляв щорічно 10-12 тис. тон ОБТ діаметра 146, 178, 203 мм та довжиною 5,6÷6,1 м. Згідно з технологією виготовлення заготовка довжиною 6,5 м проточувалася по зовнішній поверхні до

заданих розмірів, що призводило до балансування деталі. Після цього просвердлювався внутрішній отвір (80-100 мм) та проводилась термообробка кінців труби струмами високої частоти. Після термообробки заготовка встановлювалась на різьбонарізний верстат, де здійснювалося нарізання замкової різьби. На одному кінці труби нарізалася муфтова частина з'єднання, а на іншому – ніпельна. Статистичний аналіз свідчить, що понад 12% труб відбраковуються через неспіввісність отворів, що виникає під час їх просвердлювання.

Для свердління отворів великих діаметрів використовують конструкції спіральних свердел з криволінійною формою ріжучих країв. Проте, параметри криволінійних ріжучих країв у цих конструкцій не пов'язані з характером зміни зрізуваної площі металу під час збільшення радіуса свердла. Недоліком таких конструкцій свердел є неоднакова зносостійкість по довжині ріжучих країв від вісі обертання до периферії, що зменшує довговічність та ефективність його використання.

Авторами [2] розроблена конструкція свердла з криволінійними ріжучими краями, які в площині, перпендикулярній до вісі обертання свердла, виконані у вигляді спіралеподібної



Удосконалена конструкція свердла

їх недоліків, а також підвищення зносостійкості свердла та продуктивності процесу свердління отворів великих діаметрів, розроблено нову конструкцію свердла [4], схема якого наведена на рисунку.

В даній конструкції спіральні ріжучі краї розділені по висоті, та утворюють ріжучу частину свердла ступінчастої форми в його осьовій частині.

Спіральний ріжучий край свердла 1 розділений по висоті на окремі ділянки 2, 3, 4. Внаслідок цього ріжуча частина свердла складається з окремих східців 5, 6, і 7.

кривої, а відношення довжини довільної ділянки спіралеподібної кривої до величини відповідної площі, яка нею описується при обертанні, є величиною сталою і виражається рівнянням типу:

$$\sqrt{4\pi^2 \rho^2 - k^2} - k \cdot \arctg \frac{1}{k} \sqrt{4\pi^2 \rho^2 - k^2} = k\varphi$$

де $0 \leq \rho \leq R$ – поточний радіус кривої; R – радіус свердла; $k = \alpha \cdot R$ – коефіцієнт пропорційності, що визначає швидкість розвитку спіралеподібної кривої; $0 < \alpha \pi$ – безрозмірний коефіцієнт; φ – поточний полярний кут.

Наявність гострого кута, утвореного вгнутою передньою і бічною калібруючою гранями ріжучої частини свердла, сприяє підвищенню продуктивності процесу свердління і точності утворюваних отворів [3].

Та разом з тим, збільшення довжини ріжучих країв внаслідок їх спіральної форми призводить до зниження питомих контактних тисків під час свердління, що обмежує продуктивність процесу свердління, а це в свою чергу зменшує точність утворюваних отворів.

На основі аналізу конструкцій існуючих свердел, та з метою ліквідації

Завдяки спіралеподібній формі ріжучого краю, передньою гранню 8 кожної східці утворюється гострий кут відносно її бокової калібруючої грані 9. Наявність такого гострого кута по напрямку обертання сприяє підвищенню продуктивності процесу свердління і точності утворюваних отворів.

Різання металів відбувається в наслідок створення осьового навантаження на свердло під час його обертання навколо вісі.

Внаслідок ступінчастої форми ріжучої частини свердла на відповідну кількість ділянок розділяються і зрізані ошурки металу. Оскільки, передня ріжуча грань кожної східці робочої частини свердла утворює гострий кут відносно його бокової грані, ефективність процесу різання і видалення зрізованих ошурків збільшена.

Було виготовлено експериментальні зразки свердел нової конструкції та проведено дослідження зі свердління отворів в заготовках зі сталі 40ХН2МА з механічними властивостями, що відповідають вимогам «ГОСТ 4543-71». Аналіз результатів досліджень показав, що продуктивність процесу свердління із застосуванням свердла нової конструкції зростає на 35÷40 відсотків та суттєво підвищується точність утворюваних отворів.

Ефективність такого інструменту зростає зі зростанням діаметру свердління, зокрема, при свердлінні внутрішніх отворів обважнених бурильних труб.

Як зазначено вище, надзвичайно важливим аспектом, що впливає на експлуатаційні характеристики ОБТ є точність вимірювання прямолінійності протяжних отворів. На виробництві найчастіше контроль прямолінійності просвердлених отворів здійснюють за допомогою щупів (А.С. СРСР №1133043). Практика довела, що вимірювання співвісності отворів великої протяжності з використанням щупів відбувається зі значними похибками.

З метою підвищення точності визначення величини та азимуту відхилення вісі просвердленого отвору від прямолінійності розроблено пристрій для контролю прямолінійності отворів [5]. Пристрій складається з трьох секцій циліндричної форми, з'єднаних між собою карданним способом, між якими по колу кріпляться 12 п'єзодавачів, під'єднаних до шлейфового осцилографа чи іншого реєструючого пристрою. Снаряд протягується крізь внутрішню частину труби з допомогою троса. Запис мікрострумів від п'єзодавачів здійснюється на шлейфовий осцилограф чи інший реєструючий пристрій вимірів, розміщених в снаряді.

Пристрій працює наступним чином: під час протягування снаряду крізь просвердлений отвір в трубі, внаслідок не прямолінійності отвору, снаряд буде вигинатися і п'єзодавачі, що знаходяться на внутрішній частині вигнутої ділянки будуть відчувати стиск, а на зовнішній – розтяг, величина яких у вигляді мікрострумів від п'єзодавачів буде записуватися на папері шлейфового осцилографа чи іншого реєструючого пристрою.

Наявність в снаряді трьох секцій зумовлюється тим, що перша секція відіграє роль спрямовуючої і розчищає отвір від сторонніх предметів (бруд, ошурків) виготовляється порожнистою та розділеною на 2 частини. В передній частині в порожнині міститься магніт, по боках просвердлені отвори для збирання ошурків. Друга половина першої секції також є порожнистою з камерами по зовнішній поверхні, яка заповнюється мастилом і слугує для змащування отвору (у випадку, якщо виготовити її порожнистою, залити в неї мастило і навколо зробити капіляри). Дві інші секції слугують безпосередньо для вимірювання відхилень вісі отвору від прямолінійності, оскільки між ними знаходяться п'єзодавачі.

Довжина секцій снаряду вибирається з умови

$$l = (1,5 \div 2,0) \cdot d,$$

де d – діаметр отвору.

Протягування пристрою крізь отвір здійснюється електродвигуном, з'єднаним через редуктор з барабаном лебідки. Швидкість протягування 2÷4 метри за хвилину. Перед початком роботи слід проградувати п'єзодавачі шляхом згину снаряду на всі можливі кути з реєстрацією величини мікрострумів при цьому.

Орієнтуючи певним чином снаряд перед початком протягування крізь отвір визначається номер п'єзодавачів та величина мікрострумів розтягу стиску, що дозволяє отримати дані про азимут та величину відхилення отвору труби від прямолінійності.

Відхилення внутрішніх отворів ОБТ від прямолінійності призводить до різниці в товщині стінок різьбового з'єднання в перерізі основної площини на віддалі 16 мм від упорного уступу ніпеля, в якій проводиться розрахунок геометричних параметрів різьби. Враховуючи, що конусність замкових різьбових з'єднань ОБТ є великою (1÷5), різниця у товщині стінок призводить до значного пониження їх опору втомі.

Таким чином, визначення основних параметрів просвердленого отвору: азимуту та величини відхилення від прямолінійності, є надзвичайно важливим для контролю за точністю та якістю виготовлення конструкцій ОБТ, що в свою чергу сприяє підвищенню їх експлуатаційних характеристик.

Висновки

1. Замкові різьбові з'єднання не є зрівноваженими по муфтові та ніпельній частинах, та володіють низькою межею витривалості (29÷31 МПа у корозійному середовищі). Для підвищення довговічності ОБТ є необхідним вдосконалення технології і точності їх виготовлення.

2. Розроблена конструкція спіралеподібного свердла ступінчастої форми забезпечує підвищення продуктивності процесу свердління отворів великого діаметру на 35÷40 % та суттєво підвищує точність утворюваних отворів.

3. Запропонований пристрій для контролю прямолінійності отворів, що базується на застосуванні п'єзодавачів для визначення неспіввісності секцій снаряду унаслідок відхилення отвору від прямолінійності, забезпечує підвищення точності визначення величини та азимуту відхилення осі просвердленого отвору від прямолінійності для необмеженої довжини.

Рассматривается компоновка низа бурильной колонны, элементы которой существенно влияют на эффективность бурения нефтяных и газовых скважин. Показано, что аварии с утяжеленными бурильными трубами происходят вследствие низкого предела выносливости замковых резьбовых соединений и неуравновешенности по муфтовой и nipple части соединения. С целью повышения точности и качества изготовления конструкций утяжеленных бурильных труб, а соответственно и их долговечности разработаны технические средства для реализации поставленной цели.

Ключевые слова: компоновка, резьбовое соединение, скважина, предел выносливости.

We examine the bottom-hole assembly whose elements significantly influence efficiency of drilling of oil and gas wells. It has been shown that the accidents with heavy-weight pipes happen as a consequence of low fatigue strength of threaded tool joints and disbalance of coupling and nipple parts. For increase of precision and quality of production of heavy-weight drill pipes structures, and therefore, their product life, there were developed the technical means for realization of the target goal.

Key words: borehole, stress, drilling, rock

Література

1. Чернов Б. А. Методы повышения работоспособности бурильных и обсадных колонн в нефтяных и газовых скважинах: дис. на соискание науч. степени докт. техн. наук: спец. 05.15.10 «Бурение скважин». – Ивано-Франковск, 1999. – 350 с.
2. А. с. 715 238 СССР М.Кл² В 23 В 51/02. Сверло / Я. В. Кунцяк, В. И. Векерик, В. М. Сенчишак. – Опубл. 17.02.80, Бюл. № 6. – 4 с.

3. Выбор рационального вида заточки спиральных свёрл. Экспресинформация «Режущие инструменты». – Москва, 2006 г. – № 16.
4. Пат. України №72459 В23В 51/02. Свердло / М. Є. Чернова. – Опубл.2 7.08.12, Бюл. № 16.
5. Пат. України № 77534 Е21В 12/00. Пристрій для контролю прямолінійності отворів / Б. О. Чернов, М. Є. Чернова. – Опубл.25.02. 13, Бюл. № 4.

Надійшла 23.07.14

УДК 622.245

В. І. Мірненко¹, Б. О. Чернов², доктора технічних наук; **М. Я.Ткач²**

¹Національний університет оборони України ім. Івана Черняхівського, м. Київ

²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СТАЛІ 40ХН В УМОВАХ БАГАТОЦИКЛОВОЇ ВТОМИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ КІНЦЕВО- ЕЛЕМЕНТНОГО АНАЛІЗУ

В матеріалах статті надається огляд потужного чисельного методу вирішення різноманітних інженерних задач методом кінцевих елементів, який має вирішальне місце в прогнозуванні працездатності елементів бурильної колони при дії експлуатаційних факторів. Для конкретного розрахунку використовувався програмний продукт NASTRAN, який має спільну розрахункову базу на основі методу кінцевих елементів і є однією з програм кінцево-елементного аналізу.

Ключові слова: метод кінцево-елементного аналізу, вакуумне газотермоциклічне іонно-плазмове азотування, бурильна клонна, продукт NASTRAN, сталь, зразок, напружено-деформований стан.

Вступ. Метод кінцевих елементів є потужним чисельним методом вирішення різноманітних інженерних задач [1] та має вирішальне місце в прогнозуванні працездатності елементів бурильної колони при дії експлуатаційних факторів.

В залежності від виду розрахунку, складності задачі та направленості того, чи іншого програмного забезпечення для конкретного розрахунку використовуємо програмний продукт NASTRAN, який має спільну розрахункову базу на основі методу кінцевих елементів і є однією з програм кінцево-елементного аналізу. Ці програми обумовлені використанням їх для розрахунку складних задач механіки деформованого твердого тіла, задач теплопровідності, теорії коливань та інших специфічних розрахунків таких як розрахунок елементів конструкції на міцність, або оптимізація конструкції за граничними напруженнями та поперечним перетином деталі. При цьому є можливість моделювати практично всі типи матеріалів, включаючи композитні.

Оскільки конструкційні елементи бурильної колони працюють у важких статичних і динамічних умовах навантаження, та мають складні геометричні форми, то для розрахунку напружено-деформованого стану доцільно застосовувати метод кінцево-елементного аналізу [2, 3]. Для розрахунку напружено-деформованого стану необхідно врахувати особливості геометричних параметрів елементів бурильної колони, властивості конструктивного матеріалу, вид розрахунку (статичний, динамічний та ін.), та умови силового й температурного навантаження, що діють на неї. Розрахунок у роботі проводили з використанням реальних експериментальних зразків зі сталі 40ХН.