

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 622.243.272

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДВООПОРНИХ ЗАМКОВИХ З'ЄДНАНЬ БУРИЛЬНИХ ТРУБ

Артим В.І., Фафлей О.Я., Михайлюк В.В., Дейнега Р.О.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

У процесі спорудження нафтових та газових свердловин трапляються відмови свердловинного обладнання, особливо колон бурильних труб за ускладнених умов буріння. Для підвищення терміну експлуатації колон бурильних труб на практиці застосовують двоопорні замкові з'єднання, які можуть сприймати момент згинчування до 70% більший порівняно із аналогічними одноопорними. За допомогою імітаційного моделювання визначено напружено-деформований стан одно та двоопорного замкового з'єднання. Встановлено, що додаткова опора забезпечує рівномірний розподіл напружень по впадинах витків різьби ніпеля. Визначено оптимальне значення величини натягу додаткового опорного торця ніпеля, яку слід жорстко контролювати при згинчуванні замкового з'єднання. Запропоновано ряд конструктивних рішень для зменшення концентрації напружень у небезпечних зонах двоопорного замкового з'єднання.

Ключові слова: обваженні бурильні труби, імітаційне моделювання, двоопорне з'єднання, момент згинчування, напружено-деформований стан.

Постановка проблеми. Паливні та енергетичні ресурси складають життєво важливу основу існування економіки України. Саме тому відновлення роботи вітчизняної нафтогазовидобувної галузі, її стимулювання, реконструкція і модернізація є одним із стратегічних напрямків зміцнення енергетичної незалежності нашої держави. Підвищення ефективності нафтогазовидобувної галузі вимагає збільшення глибини буріння та значного підвищення надійності обладнання, що використовується при розробці нових родовищ. Із збільшенням об'єму буріння глибоких і надглибоких свердловин має першочергове значення забезпечення роботоздатності елементів бурильних колон.

Із збільшенням глибини буріння значна кількість свердловин містять криволінійні ділянки. Також на таких свердловинах збільшується час проведення спуско-підйомних операцій. Колона бурильних та обважених труб за таких умов сприймають значні поперечні деформації, циклічні навантаження. Виникнення високих напружень у найбільш небезпечних місцях колони бурильних труб стають причиною втомних руйнувань її елементів, особливо різьбових з'єднань.

Актуальним є оцінка впливу існуючих навантажень на елементи бурильної колони при глибокому бурінні, дослідження напружено-деформованого стану та вдосконалення конструкцій різьбових з'єднань бурильних труб.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз відмов елементів бурильних колон [1, 2, 3] показав, що незважаючи на постійне вдосконалення конструкції їх різьбових з'єднань відсоток відмов по різьбах не зменшується. Сьогодні світовими виробниками розроблені нові конструкції замкових з'єднань – двоопорні, які містять додаткову опору ніпеля та муфти. Виробники стверджують, що за рахунок використання додаткової опори покращується розподіл навантажень у різьбовому з'єднанні. Також є можливість згинчувати двоопорне з'єднання

з моментом більшим до 70%, порівняно із аналогічним одноопорним з'єднанням.

Наприклад, з'єднання типу DP-Master Double Lever Connection (DS) (рис. 1) [4] є більш міцним та довговічним порівняно із стандартним одноопорним з'єднанням за API. Перевагами цього з'єднання є: більший крутний момент порівняно зі аналогічними одноопорними з'єднаннями за API; менший гідравлічний опір та турбулентність під час руху через нього бурового розчину; можливість приєднання до інших типів з'єднань (API, DSTJ та GPDS).

Згідно з [5] (рис. 2) додаткова опора покращує стійкість з'єднання до втомного руйнування від дії згинального моменту, що виникає внаслідок обертання бурильної труби у викривленій ділянці свердловини.

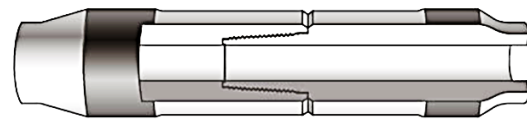


Рис. 1. З'єднання типу DP-Master Double Lever Connection

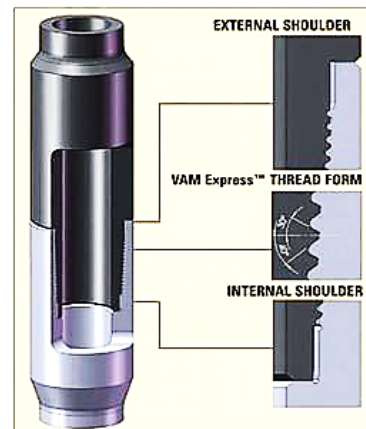


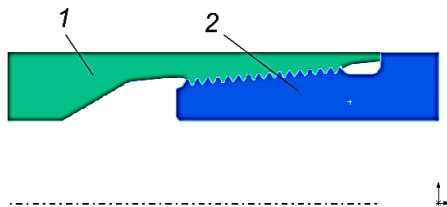
Рис. 2. Двоопорне замкове з'єднання

Конструкція цього з'єднання згідно [5] порівняно із аналогічними з'єднаннями АРІ може передавати більший обертовий момент (до 1,5...2 рази); має більший коефіцієнт запасу міцності; дає змогу заощадити 16% часу на проведення спуско-підйомних робіт і відповідно зменшує витрати на експлуатацію.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Виходячи з аналізу останніх досліджень і публікацій викликає сумнів те, що збільшений момент згвинчування двоопорних з'єднань не призведе до такого перерозподілу напружень, при якому відбудеться руйнування конструкції ніпеля або муфти у зоні додаткового опорного торця. Для перерозподілу напружень у двоопорному з'єднанні очевидно застосовуються конструктивні методи, які не вказуються в жодних інформаційних джерелах.

Мета статті полягає у дослідженні напружено-деформованого стану замкових з'єднань.

Викладення основного матеріалу. Для дослідження напружено-деформованого стану замкових з'єднань бурильних труб (БТ) (типу З-147) використано їх осесиметричну 2D-модель (рис. 3).



1 – муфта; 2 – ніпель

Рис. 3. Осесиметрична модель замкового з'єднання

Для імітації моменту згвинчування 2D-моделі з'єднання застосовано перекриття торців ніпеля та муфти (рис. 4) на величину h .

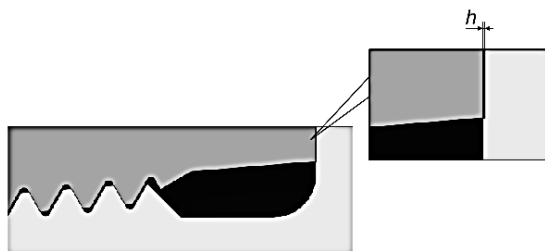
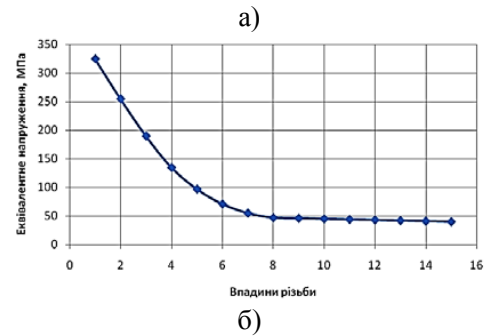
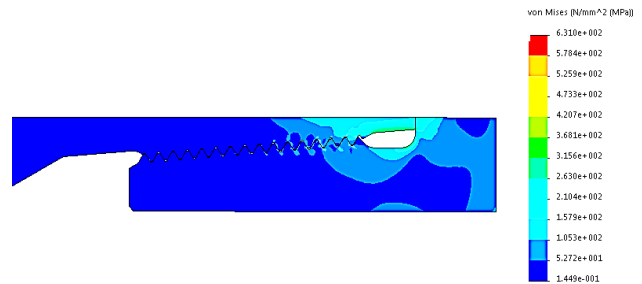


Рис. 4. Прикладання моменту згвинчування перекриттям упорних торців ніпеля та муфти

Виходячи з того, що мінімальне значення коефіцієнту запасу міцності для різьбових з'єднань становить 1,5, а границя міцності матеріалу з якого вони виготовлені – 758 МПа, то до з'єднання прикладається такий момент згвинчування, при якому напруження, що виникають у ньому, не повинні перевищувати 505 МПа. За таких умов перекриття торців ніпеля та муфти становить 0,1 мм. Також під час дослідження враховано коефіцієнт тертя між всіма елементами замкового з'єднання, величина якого становить 0,2. Будь які додаткові кріплення досліджуваної моделі – відсутні.

Розподіл еквівалентних напружень за теорією Мізеса у замковому з'єднанні наведений на рис. 5, а. Згідно І.А. Біргера розподіл навантажень і відповідно напружень у різьбовому з'єднанні

відбувається нерівномірно [6]. Для більш наглядного відображення залежності величин напружень по витках різьби ніпеля побудовано графічні залежності, показані на рис 5, б.

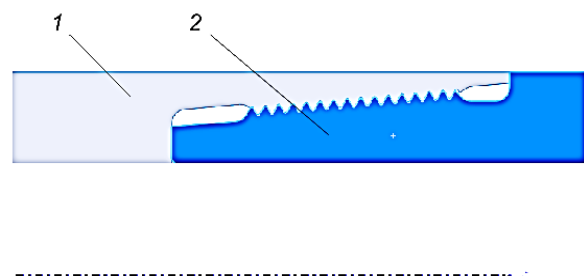


а) – у поперечному перерізі з'єднання;
б) – по впадинах витків різьби ніпеля

Рис. 5. Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом

Як видно з отриманих залежностей (рис. 5), навантаження сприймаються тільки першими 8 витками. Найнебезпечнішою ділянкою цього з'єднання залишається перша впадина витка різьби ніпеля (по якій може найшвидше зруйнуватися з'єднання).

На відміну від стандартних замкових з'єднань бурильних труб використання додаткового опорного торця змінює картину розподілу напружень по витках різьби, за рахунок чого підвищується момент згвинчування з'єднання та втомна міцність під час дії знакозмінних навантажень. Для дослідження двоопорного замкового з'єднання використано стандартну конструкцію ніпеля та муфти (З-147), відмінністю є тільки наявність додаткового опорного бурта (рис. 6). Геометричні параметри опорного бурта вибиралися довільно, виходячи із розглянутих закордонних аналогів.



1 – муфта; 2 – ніпель

Рис. 6. Двоопорна модель замкового з'єднання ОБТ

Також з метою визначення розподілу напружень по витках різьби ніпеля при різних величинах перекриття додаткового опорного торця

(врахування похибки виготовлення додаткового опорного торця) проведені дослідження при трьох різних величинах перекриття – 0,1; 0,2 та 0,3 мм.

На рис. 7 наведено графічні залежності розподілу напружень по впадинах витків різьби різьби ніпеля для одноопорного замкового з'єднання (З-147) та з'єднання з додатковим опорним торцем при трьох різних величинах його перекриття.

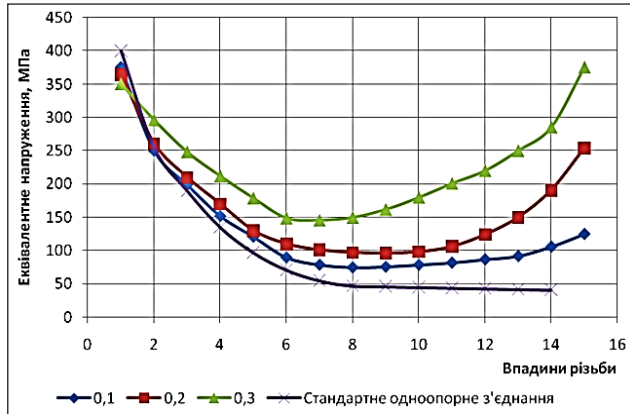


Рис. 7. Графічні залежності розподілу напружень по впадинах витків різьби ніпеля для стандартного одноопорного замкового з'єднання (З-147) та з'єднання з додатковим опорним торцем при трьох різних величинах його перекриття

Отже, проаналізувавши отримані залежності маємо висновок, що найкращий розподіл напружень по витках різьби ніпеля спостерігається при натягу на базовому торці 0,1 мм і натягу на додатковому торці 0,3 мм. При цій картині розподілу напружень замкове з'єднання матиме змогу працювати значно довше при дії циклічного знакозмінного навантаження. Однак, виходячи з результатів імітаційного моделювання впливає, що при натягу на додатковому торці 0,3 мм різко зростають напруження у зоні контакту додаткового торця ніпеля і муфти та у розвантажувальній канавці муфти. Величини напружень, що виникають є критичними, оскільки перевищують границю пластичності матеріалу, з якого виготовлено ніпельну та муфтову частину.

Зважаючи на це (рис. 8) наведено розподіл еквівалентних напружень у розвантажувальній канавці муфти із вказанням їх точних значень у окремих точках.

На рис. 9 подано напружено-деформований стан з граничним значенням напружень 505 МПа, тобто у всіх зонах наведених червоним кольором напруження перевищують це значення.

Отже, критичні значення напружень спостерігаються саме у зоні додаткового опорного торця, причому

як у муфті так і у ніпелі. Однак, у цьому випадку напруження у муфті є більш небезпечними для з'єднання бурильних труб особливо за умов циклічного знакозмінного навантаження згинальним моментом, який присутній при роботі колони бурильних труб на викривлених ділянках свердловини.

Для розвантаження як муфтової так і ніпельної частини у зоні додаткового опорного торця пропонується:

1. Виконати скос торця ніпеля під кутом (з конструктивних міркувань величина скосу прийнята рівною 0,25°) (рис. 10);
2. Змінити форму розвантажувальної канавки муфти (рис. 11);
3. Виконати розвантажувальну канавку на конічній частині додаткового опорного бурта (рис. 12).

Результати імітаційного моделювання подані на рис. 10–12.

На рис. 13 подано графічні залежності для трьох запропонованих варіантів зміни конструктивних елементів двоопорного замкового з'єднання та стандартного одноопорного з'єднання З-147.

Таблиця 1
Величини максимальних напружень у небезпечних зонах розвантажувальної канавки муфти (МПа)

Небезпечна зона розвантажувальної канавки муфти	Скос торця ніпеля	Зміна форми розвантажувальної канавки ніпеля	Розвантажувальна канавка на конічній частині бурта ніпеля
Радіус біля опорного торця	643	923	745
Радіус біля різьби	586	798	695

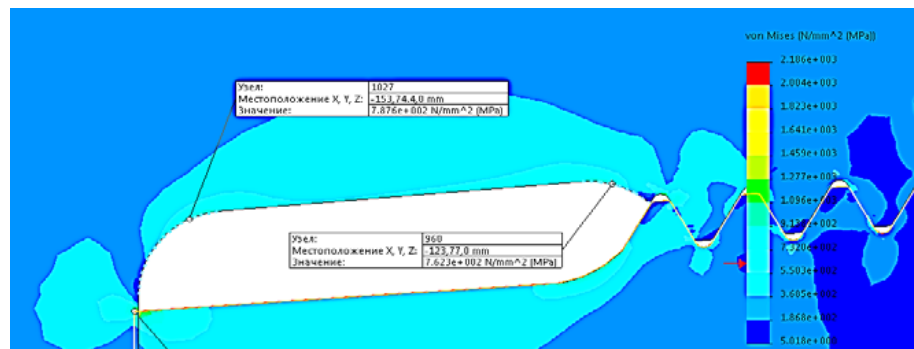


Рис. 8. Розподіл еквівалентних напружень у розвантажувальній канавці муфти при натягу на торці 0,1 мм і на додатковому торці 0,3 мм

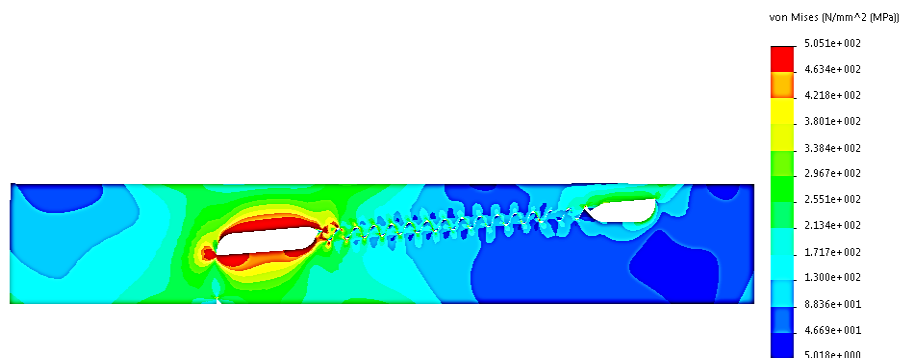


Рис. 9. Розподіл еквівалентних напружень у поперечному перерізі з'єднання з граничним значенням напружень 505 МПа

Отже, з графічних залежностей (рис. 13) випливає висновок, що найкращий варіант розподілу еквівалентних напружень по впадинах витків ніпеля спостерігається при виконанні скосу торця додаткового опорного бурта або при виконанні розвантажувальної канавки на його конічній частині. Однак, виходячи з табл. 1, при порівнянні запропонованих конструктивних варіантів за виникаючими максимальними величинами напружень, що спостерігаються у небезпечних зонах

розвантажувальної канавки муфти перевагу має скос торця додаткового опорного бурта.

З метою зменшення концентрації напружень у небезпечних зонах двоопорного замкового з'єднання обважнених бурильних труб доцільно провести оптимізацію запропонованих конструктивних елементів з'єднання (визначити оптимальні геометричні параметри: кут скосу додаткового опорного торця; форму і розміри розвантажувальної канавки на додатковому опорному торці ніпеля, на що

буде звернено увагу в подальших дослідженнях.

Висновки і пропозиції. Проведено аналіз відмов елементів бурильних колон, який показав, що відсоток відмов по різбових з'єднаннях не зменшується, що пояснюється недосконалістю існуючих конструкцій. Конструкції ж закордонних аналогічних замкових з'єднань на відміну від вітчизняних містять додаткову опору ніпеля, яка впливає на розподіл навантажень по впадинах витків різьби як ніпеля так і муфти. Це в свою чергу дозволяє проводити згинчування таких з'єднань із моментом більшим до 70%, а також такі з'єднання, згідно інформаційних джерел мають змогу працювати більший термін, оскільки мають підвищений опір втомному руйнуванню.

Викликає сумнів те, що збільшений момент згинчування двоопорних з'єднань не призводить до такого перерозподілу напружень, при якому відбувається руйнування конструкції ніпеля або муфти у зоні додаткового опорного торця. Для перерозподілу напружень у двоопорному з'єднанні очевидно застосовуються конструктивні методи, які не вказуються в жодних інформаційних джерелах.

Тому з метою визначення розподілу напружено-деформованого стану стандартного та двоопорного замкового з'єднання, розроблено їх тримірні моделі та застосовано метод кінцевих елементів, згідно результатів якого використання додаткового торця покращує розподіл напружень по впадинах витків з'єднання, але величина пе-

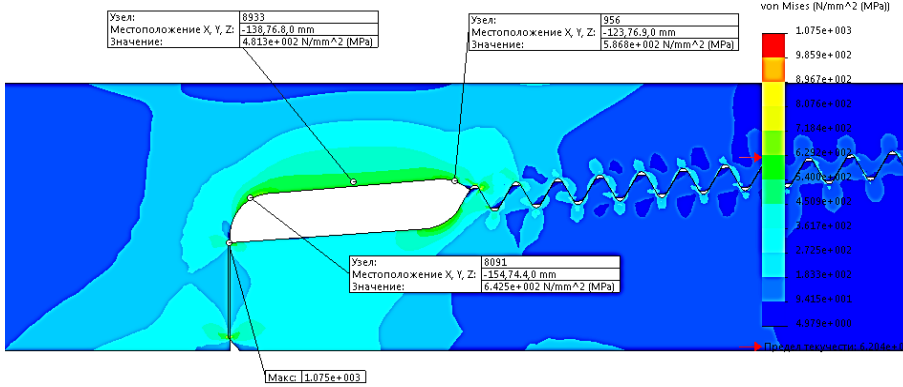


Рис. 10. Розподіл еквівалентних напружень при величині натягу на базовому торці 0,1 на додатковому 0,3 та скосом додаткового торця ніпеля 0,25°

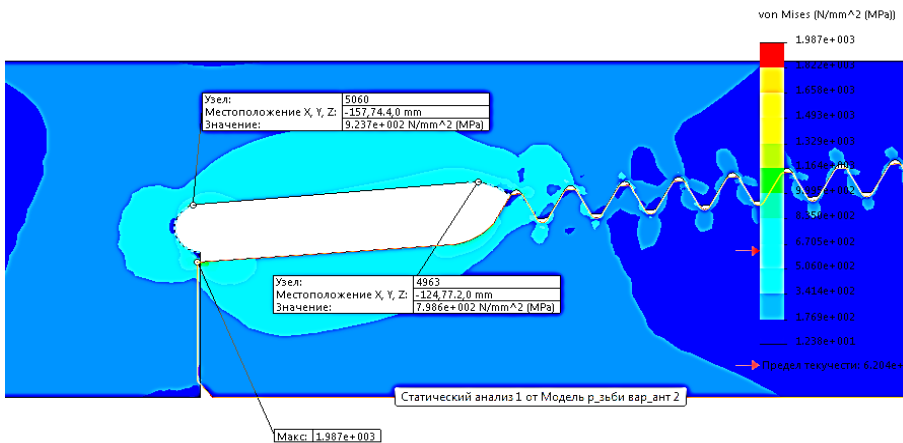


Рис. 11. Розподіл еквівалентних напружень при величині натягу на базовому торці 0,1 на додатковому 0,3 та зміненою формою розвантажувальної канавки виконаної на муфті

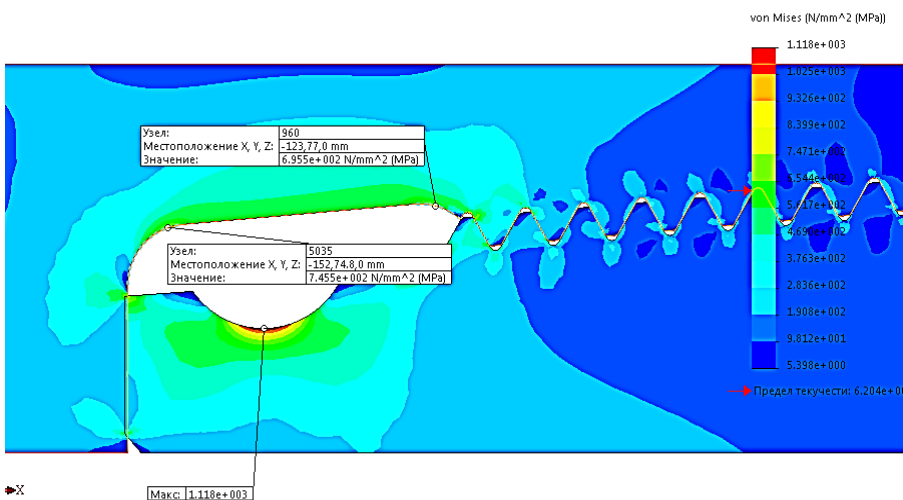


Рис. 12. Розподіл еквівалентних напружень при величині натягу на базовому торці 0,1 на додатковому 0,3 та розвантажувальною канавкою на конічній частині додаткового опорного бурта

рекриття додаткових торців повинна бути строго регламентована.

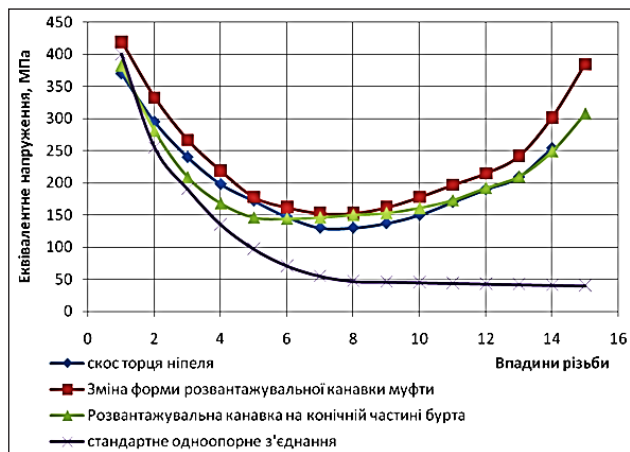


Рис. 13. Графічні залежності для трьох запропонованих варіантів зміни конструктивних елементів двоопорного замкового з'єднання та стандартного одноопорного з'єднання З-147

Згідно з результатами використання додаткового торця покращується розподіл напружень по впадинах витків з'єднання. Але величина перекриття торців повинна бути строго регламентована. Визначено, що оптимальною величиною

перекриття основного опорного торця 0,1, а додаткового – 0,2 мм. Величина перекриття додаткового торця 0,3 мм призведе до руйнування з'єднання по тілу муфти або додатковий торець ніпеля буде zdeформований і не виконуватиме призначеної функції. Його перекриття на 0,1 мм призводитиме до руйнування ніпеля по першому його витку. Отже, для використання розглянутої конструкції двоопорного з'єднання об'єднаних труб слід жорстко контролювати величину його натягу.

З метою дослідження впливу конструктивних елементів двоопорних замкових з'єднань бурильних труб на їх напружено-деформований стан побудовано їх 2D-моделі із запропонованими трьома варіантами розвантажень зон концентрації напружень. Порівняльний аналіз триманих результатів вказує на більшу ефективність застосування скосу додаткового упорного торця ніпеля і виконання розвантажувальної канавки на торці ніпеля, однак, уточнивши величини напружень у небезпечних зонах муфти найефективнішим вибрано виконання скосу додаткового упорного торця ніпеля.

Однак кут скосу додаткового опорного торця ніпеля був вибраний інтуїтивно, і тому в подальших дослідженнях планується виконати імітаційне моделювання для визначення оптимального його значення.

Список літератури:

1. Артим В. І. Аналіз корозійно-втомних руйнувань елементів бурильної колони / В. І. Артим, І. І. Яциняк, В. В. Гриців, А. Р. Юрич, Р. В. Рачкевич // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. – № 2(43). – С. 197–200.
2. Воронежский М. К. Результаты применения неразрушающего контроля качества труб / М. К. Воронежский, Д. А. Романуха, В. М. Дитчук // Бурение. 1981. – № 7. – С. 12–13.
3. Отчет ВНИИТ нефть «Анализ эксплуатации и долговечности бурильных труб на предприятиях объединений «Укрнефть» и «Белорусьнефть».
4. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.texasdrilltools.com/api-drill-pipe/dpds.html>
5. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://drilleng-group6-casingstringdesign-1.wikispaces.com/04.1+New+drill+string+innovation>
6. Биргер И. А., Иосилевич Г. Б. Резьбовые и фланцевые соединения. М.: Машиностроение, 1990. – 368 с.
7. Бурильные трубы: без права на разрыв / С. И. Билан, А. П. Быков, А. В. Емельянов // Бурение и нефть. – 2010. – № 9. – С. 38–39.

Артым В.И., Фафлей О.Я., Михайлюк В.В., Дейнега Р.А.

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДВУХОПОРНЫХ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

Аннотация

В процессе сооружения нефтяных и газовых скважин случаются отказы скважинного оборудования, особенно колонн бурильных труб в осложненных условиях бурения. Для повышения срока эксплуатации колонн бурильных труб на практике применяют двухопорные замковые соединения, которые могут воспринимать момент свинчивания до 70% больше по сравнению с аналогичными одноопорными. С помощью имитационного моделирования определены напряженно-деформированное состояние одно и двухопорного замкового соединения. Установлено, что дополнительная опора обеспечивает равномерное распределение напряжений по упадинам витков резьбы ниппеля. Определены оптимальные значения величины натяжения дополнительного опорного торца ниппеля, которую следует жестко контролировать при свинчивания замкового соединения. Предложен ряд конструктивных решений для уменьшения концентрации напряжений в опасных зонах двухопорного замкового соединения.

Ключевые слова: утяжеленные бурильные трубы, имитационное моделирование, двухопорное соединение, момент свинчивания, напряженно-деформированное состояние.

Artym V.I., Faflei O.Y., Myhajljuk V.V., Deynega R.O.
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

INVESTIGATION OF A STRESSED-DEFORMED STATE OF DOUBLE SHOULDER TOOL JOINT OF DRILL PIPES

Summary

During the construction of oil and gas wells, well equipment, especially drill pipe columns due to complicated drilling conditions is abandoned. In order to increase the term of exploitation of drill pipe columns in practice, double shoulder tool joint are used, which can take a make-up torque of up to 70% higher compared to similar single shoulder connection. With the help of simulation, the stressed-deformed state of single and double shoulder tool joint are determined. It has been established that the additional reference end of the pin ensures even distribution of stresses in the cavities of the threads of the pin. The optimal tension value of the additional reference end of the pin is determined, which should be strictly controlled when screwdriving the tool connection. A series of constructive solutions was proposed to reduce the stress concentration in dangerous zones of double shoulder tool joint.

Keywords: drill collars, simulation modelling, double shoulder connection, make-up torque, deflected mode.