



Механічна інженерія

Прийнято 21.05.2025. Прорецензовано 27.05.2025. Опубліковано 30.12.2025.

УДК 622.2

DOI: 10.31471/1993-9965-2025-2(59)-24-32

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЗАМКОВОГО РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ БУРИЛЬНИХ ТРУБ

Новосельський Б. А.

Аспірант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

<https://orcid.org/0009-0002-6027-8322>

e-mail: bellnar666@gmail.com

Анотація. Розглядаються особливості конструкції та експлуатації замкових різьбових з'єднань (ЗРЗ) бурильної колони, які використовуються для з'єднання бурильних труб, перевідників, долота, калібраторів тощо. ЗРЗ повинні забезпечувати високу міцність, опір втомі при дії розтягуючих, стискаючих, згинаючих навантажень та крутних моментів, а також герметичність, зносостійкість і швидкість збирання. Важливим фактором під час експлуатації ЗРЗ є правильне застосування мастила та дотримання заданого крутного моменту затягування, оскільки порушення цих умов може призвести до руйнування цього з'єднання. У роботі наведено причини відмов ЗРЗ. Під час дослідження конструкцій ЗРЗ науковці враховують широкий спектр чинників, але, зазвичай, не враховують вплив температури, яка діє на з'єднання в процесі його збирання і під час роботи колони в свердловині. Через складність та високу вартість натурних випробувань великогабаритного та складного обладнання (зокрема ЗРЗ) широке застосування отримало моделювання його напружено-деформованого стану методом скінченних елементів (МСЕ). У роботі показано модель ЗРЗ, побудовану відповідно до стандартів API, та визначено напружено-деформований стан з'єднання при дії моменту згинчування, осьового навантаження та температури. Моделювання ЗРЗ проведено для трьох варіантів: при однаковій температурі ніпеля і муфти 20 °С, при температурі ніпеля 20 °С та муфти 100 °С і при температурах ніпеля та муфти 100 °С. Результати показали, що зі збільшенням різниці температур ніпеля та муфти напруження по впадинах різьби муфти значно зростають, а максимальні напруження у ніпелі знижуються. Особливо складні умови роботи ЗРЗ виникають при температурі ніпеля 20 °С і муфти 100 °С та при дії осьового навантаження розтягу і моменту згинчування, що характерно для ділянок бурильної колони, які розташовані ближче до устя свердловини. Подальші дослідження передбачають моделювання теплообміну між буровим розчином та ЗРЗ із урахуванням теплопередачі матеріалу і корекцію моменту згинчування для підвищення точності оцінки напружено-деформованого стану ЗРЗ.

Ключові слова: бурильна колона; замкове різьбове з'єднання; напружено-деформований стан; напруження; витки різьби; температура.

Запропоноване посилання: Новосельський, Б. А. (2025). Вплив температури на напружено-деформований стан замкового різьбового з'єднання бурильних труб. Науковий вісник ІФНТУНГ, 2(59), 24-32. doi: 10.31471/1993-9965-2025-2(59)-24-32

* Відповідальний автор



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Вступ

Під час спорудження нафтових і газових свердловин важливу роль відіграють різьбові з'єднання, від якості яких суттєво залежить надійність бурильних колон. Особливістю роботи елементів бурильних колон є вплив на них значних згинальних, крутних, стискаючих і розтягуючих навантажень, тому експлуатаційні характеристики ЗРЗ визначають технічні показники процесу спорудження свердловин та його економічну ефективність.

Різьбові з'єднання широко використовуються завдяки своїй простоті, надійності, зручності регулювання моменту згвинчування, а також можливості багаторазового розбирання і повторного складання без заміни деталей, однак через поломки замкової різьби в елементах бурильних колон трапляється чимало аварій [1].

Згідно з дослідженнями [2] при знакозмінних навантаженнях, що діють на бурильну колону, максимальні напруження концентруються біля першого витка різьби ніпеля, що часто призводить до його руйнування [1].

Зі збільшенням глибини свердловини, ростом пластового тиску, впровадженням нових технологій та інтенсивних режимів під час спорудження свердловин виникає потреба у дослідженні роботи конструкцій ЗРЗ із врахуванням якомога більшої кількості чинників, які на них впливають, для подальшого вдосконалення.

Аналіз вітчизняних досліджень і публікацій

Елементи бурильної колони (бурильні труби, перевідники, долото, калібратори тощо) збираються з допомогою конічної замкової різьби [2], утворюючи замкове різьбове з'єднання (ЗРЗ) рис. 1.

ЗРЗ у процесі експлуатації повинно забезпечувати задані технічні вимоги:

- необхідну статичну міцність та опір втомі під дією розтягуючих, стискаючих та згинаючих навантажень та крутних моментів;
- швидке збирання;
- необхідну герметичність;
- високу зносостійкість при багаторазовому згвинчуванні тощо.

Під час згвинчування ЗРЗ необхідно застосовувати певний тип мастила, оскільки воно значно впливає на зносостійкість та герметичність різьб.

Для забезпечення всіх властивостей ЗРЗ його згвинчують із великим крутним моментом. Однією з причин руйнування ЗРЗ є порушення величини крутного моменту затягування під час збирання колони.

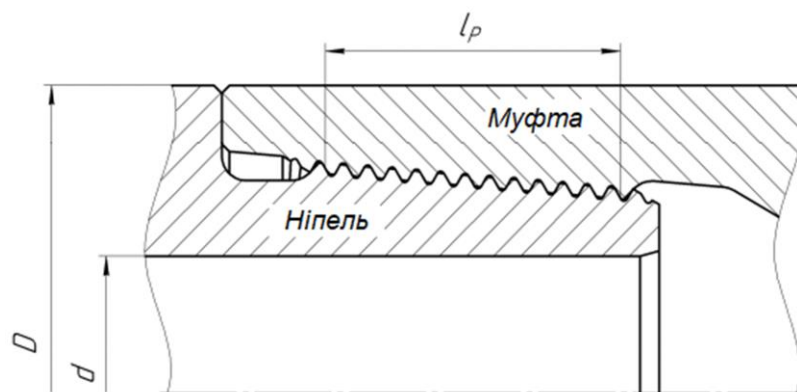
Розвиток втомних тріщин та відмови ЗРЗ у більшості випадків відбуваються по першому спряженому витку різьби. Небезпечний переріз ніпеля знаходиться на відстані 24 мм від його упорного торця [2], небезпечний переріз муфти – на відстані 10 мм від меншого торця ніпеля (рис. 2).

При дослідженні втомних корозійних тріщин встановлено, що вони, як правило, зароджуються не на самому дні різьбової канавки, а дещо вище (рис. 3).

У таблиці 1 наведено причини, що можуть призвести до відмов ЗРЗ [3, 4].

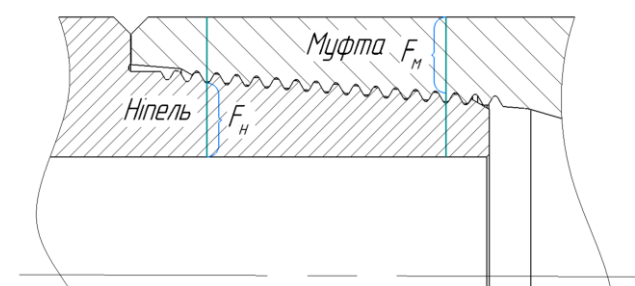
Також одним із видів руйнувань ЗРЗ бурильної колони є термічне розтріскування замків. Замки обертаються при високому боковому зусиллі притискання до стінки свердловини, тож можуть бути пошкоджені внаслідок нагрівання від тертя [2].

Для підвищення опору втомі на ЗРЗ використовуються зарізьбові розвантажувальні канавки. Застосування таких канавок для з'єднання 4½''



l_p – довжина робочої частини різьби; D – зовнішній діаметр бурильної труби;
 d – діаметр отвору в трубі

Рисунок 1 – Замкове різьбове з'єднання



F_H та F_M – площі небезпечних перерізів ніпеля (Н) та муфти (М)

Рисунок 2 – Небезпечні перерізи ЗРЗ

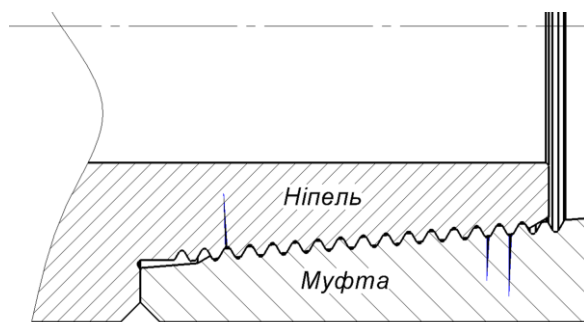


Рисунок 3 – Зародження втомної тріщини у ЗРЗ

Таблиця 1 – Причини відмов ЗРЗ

Під час	Причини відмов
проектування	– відсутність канавок на ненарізаній частині бурової труби; – неміцна конструкція різьбової частини бурової труби; – ненадійна форма профілю різьби
виготовлення	– неточність розмірів та форм профілю різьби; – дефекти поверхні різьби; – відсутність захисного покриття різьби; – невідповідність фізико-механічних властивостей матеріалу; – низький ступінь зміцнення впадин різьби
збирання	– невідповідність використовуваного мастильного матеріалу; – недостатній або надлишковий момент згвинчування різьби
експлуатації	– агресивність робочого середовища; – великі осьові навантаження; – дія знакозмінного навантаження згину; – перевантаження
контролю	– низька кваліфікація контролера; – невідповідність методики контролю різьб та замків; – неточність приладів для контролю різьб

ГН діаметром 146 мм дозволило збільшити втомну міцність ЗРЗ на 90%. А використання високомоментного ЗРЗ [5], яке має додаткову опору, дозволило підвищити моменти згвинчування на 35-70 % порівняно із традиційними ЗРЗ, що залежить від діаметра.

Для зміни розподілу навантажень по витках ЗРЗ можна використовувати ніпель з різьбою, виконаною за принципом Ван-дер-Вісселя, а також муфту зі стандартною різьбою. Дослідження виготовленого із сталі 35 з'єднання конструкції з підвищеним моментом затягування показали збільшення границі витривалості ЗРЗ на 100%. Ван-дер-Віссель та його наступники пропонували і інші способи досягнення такого ефекту: змінний крок різьби, змінна конусність, гіперболічна твірна конуса різьби, змінна висота профілю тощо, проте, на той час ці прийоми надто ускладнювали технології виготовлення ЗРЗ.

У зв'язку із високою затратністю на натурні випробування ЗРЗ бурильних труб широко розповсюдження набуває моделювання напружено-деформованого стану методом скінченних елементів (МСЕ). Виходячи з його особливостей (а саме, необхідності розбиття складних об'ємів та поверхонь на велику кількість простих елементів) цей метод моделювання потребує високопродуктивних ПК. У зв'язку з цим зазвичай вдаються до деякого спрощення задачі. Такі дослідження проводять переважно на осесиметричних моделях, проте до таких моделей не можна прикладати безпосередньо момент згвинчування та регулювати його величину. У цьому випадку він замінюється створенням попереднього геометричного натягу в моделі (між торцями ніпеля та муфти) або температурним розширенням елементів моделі.

Особливості ЗРЗ та їх імітаційне моделювання розглядалося в наступних роботах. Так,

у праці [5] з проведеного аналізу відмов елементів бурильних колон встановлено, що, не зважаючи на постійне вдосконалення конструкції ЗРЗ, відсоток відмов не зменшується. Світовими виробниками розроблено нові конструкції двоопорних з'єднань, які містять додаткову опору ніпеля та муфти. За рахунок цієї опори покращується розподіл навантажень у різьбовому з'єднанні. Це, в свою чергу, дозволяє збільшити момент згвинчування до 70% порівняно із стандартним одноопорним з'єднанням. Однак, викликає сумнів те, що збільшений момент згвинчування двоопорних з'єднань не призведе до такого перерозподілу напружень, при якому виникне ймовірність швидкого руйнування конструкції (як ніпеля, так і 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 двоопорних замкових з'єднань застосовано імітаційне моделювання. Згідно з результатами моделювання використання додаткового торця у ЗРЗ покращується розподіл напружень по впадинах витків з'єднання, проте величина перекриття торців повинна бути строго регламентована [5]. Визначено оптимальні величини перекриття основного та додаткового опорних торців. Встановлено, що для використання розглянутої у праці конструкції двоопорного з'єднання об'єднаних труб слід жорстко контролювати величину його натягу.

Проблемним під час моделювання у середовищі SolidWorks Simulation залишається імітація моменту згвинчування різьбових з'єднань [6]. Існує декілька способів імітування моменту згвинчування під час дослідження напружено-деформованого стану різьбових з'єднань. Для розв'язання задач в осесиметричній постановці оптимальним є метод перекриття торців ніпеля та муфти на необхідну величину. Натомість пришвидшує процес розрахунку, уможливорює побудову дрібнішої сітки скінченних елементів та отримання точніших результатів. Наведено алгоритм [6] розрахунку величини натягу різьбових з'єднань насосних штанг, який може бути застосований і до різьбових з'єднань елементів бурильних колон з деякими коректуваннями. Відмінність полягає лише у формулі визначення моменту згвинчування, з якої виводять значення сили попереднього затягнення та площ небезпечних перерізів. Також у роботі [5] проведено імітаційне дослідження із застосуванням вибраного мето-

ду на прикладі різьбового з'єднання насосних штанг діаметром 19 мм. Отримано епюру переміщень та розподілу еквівалентних напружень у різьбовому з'єднанні та показано можливість визначення конкретних параметрів у певних точках досліджуваної моделі із наступною автоматизованою побудовою їх графічних залежностей.

У роботі [7] для визначення напружено-деформованого стану різьбового з'єднання, у якому наявне відхилення одного з найважливіших параметрів різьби - розташування основної площини, побудовано тримірну модель з'єднання NC50 для дослідження МСЕ. У результаті проведеного імітаційного моделювання різьбового з'єднання, основна площина якого розміщена відповідно до вимог нормативних документів, встановлено розподіл напружень по впадинах різьби ніпеля, згідно з яким максимальні напруження виникають у впадинах витків, розміщених ближче до опорного торця, а з віддаленням від них - поступово знижуються. Такий розподіл напружень, отриманий за допомогою імітаційного моделювання, збігається із відомими теоріями. Проведені імітаційні моделювання, за яких розміщення основної площини зміщено на 2 мм у бік опорного торця ніпеля, показали зміну розподілу та зростання величини напружень по впадинах різьби ніпеля та зміну величини контактного тиску на опорних торцях ніпеля і муфти. Необхідно зауважити, що такі зміни негативно вплинуть на роботу різьбового з'єднання. Дослідження різьбового з'єднання, у якому основна площина зміщена на 2 мм у бік від опорного торця ніпеля, показали зростання напружень по впадинах витків різьби ніпеля та різке зниження величин контактного тиску на опорних торцях ніпеля та муфти. За таких умов різьбове з'єднання зруйнується за малої кількості циклів навантаження.

У роботі [8] розглядаються відмови бурильних колон, особливо на викривлених ділянках свердловин, що призводить до значних витрат часу та коштів на ліквідацію аварій. Для підвищення ресурсу експлуатації бурильних труб розроблено двоопорні замкові з'єднання, здатні витримувати більший момент згвинчування - до 70% порівняно з одноопорними. Імітаційне моделювання показало, що двоопорні з'єднання мають більш рівномірний розподіл напружень у різьбі, що сприяє збільшенню терміну служби при циклічних навантаженнях. Визначено оптимальні параметри натягу додаткового опорного торця ніпеля, відхилення від яких може викликати руйнування з'єднання.

Найнебезпечнішими зонами двоопорних ЗРЗ є розвантажувальна канавка муфти та додатковий опорний торець ніпеля, для яких запропоновано низку конструктивних рішень, серед яких найефективнішим є скіс додаткового торця.

Проте у цих дослідженнях під час прикладання граничних умов не враховується температура елементів ЗРЗ, що може значно впливати на їх ресурс. Тому в даній роботі основна увага буде приділена впливу зміни температури на напружено-деформований стан ЗРЗ бурових труб.

Мета роботи та обґрунтування необхідності її виконання

Метою роботи є дослідження впливу температури на напружено-деформований стан ЗРЗ з врахуванням дії навантаження розтягу та моменту згинчування.

Для досягнення мети необхідно:

- побудувати модель ЗРЗ відповідно до стандартів API;
- розробити розрахункову схему для дослідження ЗРЗ;
- встановити напружено-деформований стан ЗРЗ при дії навантаження розтягу, моменту згинчування та температур, описати отримані результати та зробити висновки.

Викладення основного матеріалу

Для дослідження напружено-деформованого стану ЗРЗ NC50 побудовано його тривимірну модель (рис. 4).

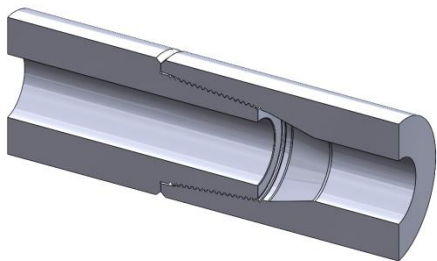


Рисунок 4 – Тривимірна модель замкового різьбового з'єднання

При дослідженні будуть враховані осьове навантаження та момент згинчування, тому для пришивидження розрахунку застосовано осесиметричну модель ЗРЗ.

Дослідження напружено-деформованого стану ЗРЗ виконано для наступних варіантів:

- 1 – при дії тільки моменту згинчування та осьового навантаження на розтяг та дії температури (на ніпель – 20 °C, на муфту – 20 °C);
- 2 – при дії моменту згинчування, осьового навантаження на розтяг та дії температури (на ніпель – 20 °C, на муфту – 100 °C);

Для зручності розуміння отримуваних результатів імітаційного моделювання необхідно зазначити початок відліку впадин різьб ніпеля та муфти (рис. 5).

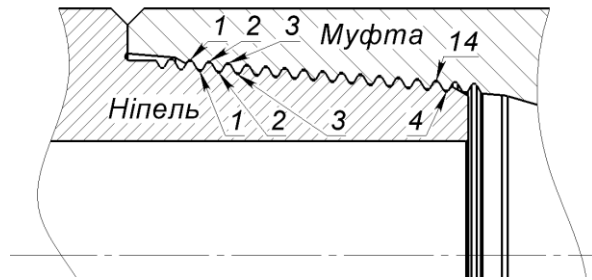


Рисунок 5 – Початок відліку впадин різьб ніпеля та муфти

Граничними умовами під час моделювання прийнято: осьове навантаження 406000 Н, момент згинчування як перекриття упорних торців ніпеля та муфти на певну величину (аналогічно як у працях [3-7]).

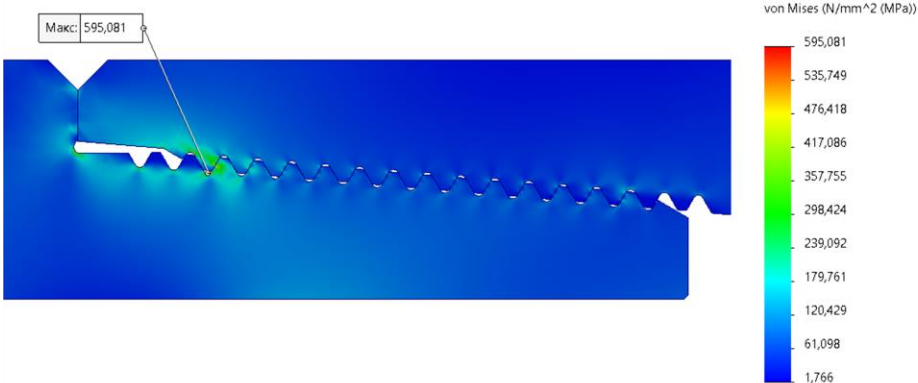
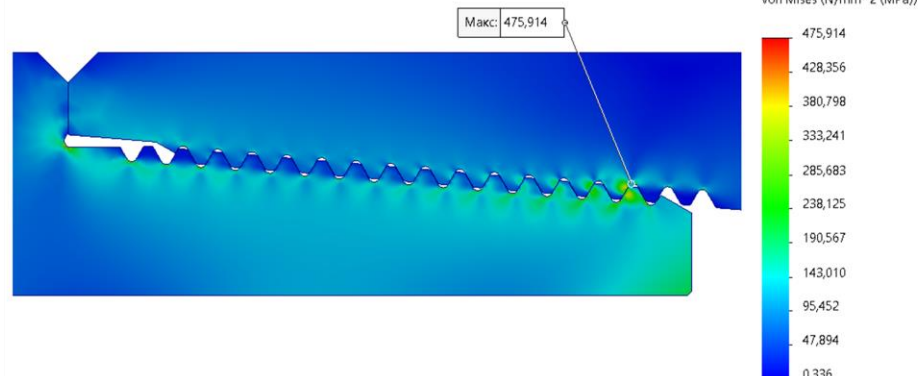
Результати імітаційного моделювання для кожного варіанту дослідження наведено у таблиці 2.

Для зручності аналізу отриманих результатів (табл. 2) розподіл еквівалентних напружень по впадинах витків ніпеля та муфти (згідно з рис. 5) для різних варіантів дослідження наведено на рисунку 6.

Виходячи з результатів імітаційного моделювання (рис. 6), зростання величин еквівалентних напружень по впадинах різьб як ніпеля, так і муфти спостерігається за температури ніпеля 20 °C і температури муфти 100 °C порівняно із температурою ніпеля 20 °C і муфти 20 °C. Проте необхідно зауважити, що при цьому максимальна величина напружень у ніпелі знижується з 600 МПа до 365 МПа. Зростання напружень у тринадцятому витку різьби муфти може підтверджувати її відмови по цьому витку під час експлуатації.

В подальшому для встановлення точніших залежностей напружено-деформованого стану ЗРЗ при дії навантажень розтягу, моменту згинчування та дії температур (ззовні та всередині з'єднання) необхідно провести моделювання теплообміну з врахуванням теплопередачі матеріалу ЗРЗ та, за необхідності, скоригувати момент згинчування.

Таблиця 2 – Результати імітаційного моделювання

Номер варіанту дослідження	Еквівалентні напруження за Мізесом
1 – при дії моменту згинчування, осьового навантаження на розтяг та дії температури (на ніпель – 20 °С, на муфту – 20 °С);	
2 – при дії моменту згинчування, осьового навантаження на розтяг та дії температури (на ніпель – 20 °С, на муфту – 100 °С);	

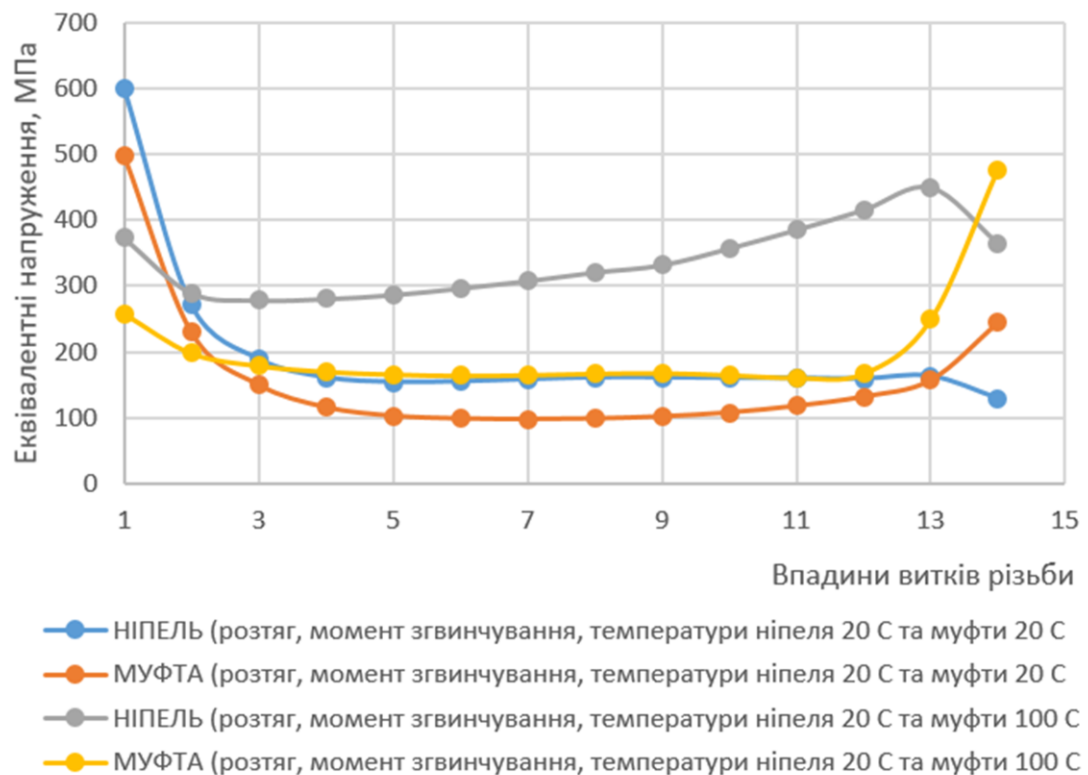


Рисунок 6 – Розподіл еквівалентних напружень по впадинах витків ніпеля та муфти для різних варіантів дослідження

Висновки

Відповідно до стандартів API побудовано тривимірну модель ЗРЗ для проведення імітаційного моделювання та розроблено розрахункову схему. Оскільки до ЗРЗ під час досліджень прикладались тільки момент згинчування та осьовий розтяг, то для пришвидшення розрахунків застосовано осесиметричну модель.

Відповідно до розрахункової схеми встановлено напружено-деформований стан ЗРЗ. Досліджено з два варіантами впливу температур: ніпель – 20°C, муфта – 20°C; ніпель – 20°C, муфта – 10°C.

Виходячи з результатів імітаційного моделювання, спостерігається збільшення величин еквівалентних напружень у впадинах різьб як ніпеля, так і муфти за температури ніпеля 20 °C та муфти 100 °C у порівнянні з умовами, коли обидва елементи (ніпель та муфта) мають температуру 20 °C. Водночас необхідно відзначити, що максимальні напруження в ніпелі зменшуються з 600 до 365 МПа. Крім того, зростання напружень у різьбі муфти на 13-му

витку може пояснювати відмови муфти саме в цій ділянці під час експлуатації. Ситуація з нагрівом ніпеля до 20 °C і муфти до 100°C характерна для бурильної колони, яка знаходиться ближче до устя, тож, враховуючи розтягуюче навантаження на з'єднання та момент його згинчування, створює одні з найскладніших умов його експлуатації. Для точнішого визначення напружено-деформованого стану ЗРЗ при впливі розтягуючих навантажень, моменту згинчування та температурних факторів (зовнішніх і внутрішніх) необхідно провести додаткове моделювання теплообміну з урахуванням теплопередачі матеріалу з'єднання, а також за потреби внести корективи у формули розрахунку моменту згинчування.

Подяки

Відсутні.

Конфлікт інтересів

Відсутній.

Список використаних джерел

1. Артим В. І., Яциняк І. І., Гриців В. В., Юрич А. Р., Рачкевич Р. В. Аналіз корозійно-втомних руйнувань елементів бурильної колони. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2012. № 2(43). С. 197–200. URL: <http://rrngr.nung.edu.ua/index.php/rrngr/article/view/158>
2. Копей Б. В., Лях М. М. Нафтогазове обладнання: у 11 т. За заг. ред. Б. В. Копея. Т. 2: Розрахунок, конструювання, монтаж та експлуатація машин та обладнання для спорудження свердловин: підручник. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021. 612 с.
3. Механіка руйнування і міцність матеріалів: довідн. посіб. За заг. ред. В. В. Панасюка. Т. 10: Міцність та довговічність нафтогазового обладнання. В. І. Похмурський, Є. І. Крижанівський, В. М. Івасів та ін. Львів – Івано-Франківськ: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України; Івано-Франківський націон. техн. ун-т нафти і газу, 2006. 1193 с.
4. Onysko O., Kopei V., Vytvytskyi V., Vriukalo V., Lukan T. Calculation of the Accuracy of the Drill-String NC13 Thread Profile Turned from Difficult-to-Machine Steel. *Advanced Manufacturing Processes V. InterPartner 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham, 2024. P. 177–187. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-42778-7_17
5. Артим В. І., Фафлей О. Я., Дейнега Р. О., Михайлюк В. В. Аналіз сучасних конструкцій замкових з'єднань обважених бурильних труб. *Нафтогазова енергетика*. 2017. № 2. С. 22–30. URL: <http://nge.nung.edu.ua/index.php/nga/article/view/241>
6. Фафлей О. Я., Михайлюк В. В., Рачкевич Р. В., Дейнега Р. О., Різничук А. І., Кравчук Р. С. Особливості дослідження різьбових з'єднань за допомогою методу кінцевих елементів. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 2021. № 1(50). С. 62–69. DOI: [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2021-1\(50\)-62-69](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2021-1(50)-62-69)
7. Фафлей О. Я., Михайлюк В. В., Дейнега Р. О., Мельник В. О., Шатан М. В., Пригоровський О. В. Дослідження впливу розміщення основної площини різьби на напружено-деформований стан замкового різьбового з'єднання елементів бурильної колони. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 2021. № 2(51). С. 66–72. DOI: [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2021-2\(51\)-66-72](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2021-2(51)-66-72)

8. Артим В. І., Фафлей О. Я., Дейнега Р. О., Михайлюк В. В. Дослідження впливу конструктивних елементів двоопорних замкових з'єднань бурильних труб на їх напружено-деформований стан. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2017. № 4. С. 77–87. URL: <http://rrngr.nung.edu.ua/index.php/rrngr/article/view/399>

References

1. Artym, V. I., Yatsyniak, I. I., Hrytsiv, V. V., Yurych, A. R., & Rachkevych, R. V. (2012). Analiz koroziiino-vtomnykh ruinuvan elementiv burylnoi kolony [Analysis of corrosion-fatigue failures of drill string elements]. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovysch*, (2(43)), 197–200. <http://rrngr.nung.edu.ua/index.php/rrngr/article/view/158> [in Ukrainian]
2. Kopei, B. V., & Liakh, M. M. (2021). *Naftohazove obladnannia: u 11 t. T. 2. Rozrakhunok, konstruiuvannia, montazh ta ekspluatatsiia mashyn ta obladnannia dlia sporudzhennia sverdlovyn* [Oil and gas equipment: in 11 vols. Vol. 2. Calculation, design, installation and operation of machines and equipment for well construction] (B. V. Kopei, Ed.). IFNTUNG. [in Ukrainian]
3. Panasiuk, V. V. (Ed.). (2006). *Mekhanika ruinuuvannia i mitsnist materialiv: dovidn. posib. Tom 10: Mitsnist ta dovhovichnist naftohazovoho obladnannia* [Fracture mechanics and strength of materials: reference book. Vol. 10: Strength and durability of oil and gas equipment] (V. I. Pokhmurskyi, Ye. I. Kryzhanivskyi, V. M. Ivasiv, et al.). Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine; IFNTUNG. [in Ukrainian]
4. Onysko, O., Kopei, V., Vytvytskyi, V., Vriukalo, V., & Lukan, T. (2024). Calculation of the Accuracy of the Drill-String NC13 Thread Profile Turned from Difficult-to-Machine Steel. In V. Tonkonogyi, V. Ivanov, J. Trojanowska, G. Oborskyi, & I. Pavlenko (Eds.), *Advanced Manufacturing Processes V. InterPartner 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42778-7_17
5. Artym, V. I., Faflei, O. Ya., Deineha, R. O., & Mykhailiuk, V. V. (2017). Analiz suchasnykh konstruktii zamkovykh z'iednan obvazhenykh burylnykh trub [Analysis of modern designs of tool joints for heavy-weight drill pipes]. *Naftohazova enerhetyka*, (2), 22–30. <http://nge.nung.edu.ua/index.php/nge/article/view/241> [in Ukrainian]
6. Faflei, O. Ya., Mykhailiuk, V. V., Rachkevych, R. V., Deineha, R. O., Riznychuk, A. I., & Kravchuk, R. S. (2021). Osoblyvosti doslidzhennia rizboivnykh z'iednan za dopomohoiu metodu kintsevykh elementiv [Features of investigation of threaded connections by the finite element method]. *Naukovyi visnyk Ivano-Frankivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu*, (1(50)), 62–69. [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2021-1\(50\)-62-69](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2021-1(50)-62-69) [in Ukrainian]
7. Faflei, O. Ya., Mykhailiuk, V. V., Deineha, R. O., Melnyk, V. O., Shatan, M. V., & Pryhorovskiy, O. V. (2021). Doslidzhennia vplyvu rozmishchennia osnovnoi ploshchyny rizby na napruzhenno-deformovanyi stan zamkovoho rizboivoho z'iednannia elementiv burylnoi kolony [Investigation of the effect of the pitch plane position on the stress-strain state of the tool joint threaded connection of drill string elements]. *Naukovyi visnyk Ivano-Frankivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu*, (2(51)), 66–72. [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2021-2\(51\)-66-72](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2021-2(51)-66-72) [in Ukrainian]
8. Artym, V. I., Faflei, O. Ya., Deineha, R. O., & Mykhailiuk, V. V. (2017). Doslidzhennia vplyvu konstruktyvnykh elementiv dvoopornykh zamkovykh z'iednan burylnykh trub na yikh napruzhenno-deformovanyi stan [Investigation of the influence of design elements of double-shoulder drill pipe tool joints on their stress-strain state]. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovysch*, (4), 77–87. <http://rrngr.nung.edu.ua/index.php/rrngr/article/view/399> [in Ukrainian]

THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE STRESS–STRAIN STATE OF THE TOOL JOINT THREADED CONNECTION OF DRILL PIPES

Novoselskyi B. A.

Postgraduate student

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

76019, Karpatska Str., 15, Ivano-Frankivsk, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0002-6027-8322>

e-mail: bellnar666@gmail.com

Abstract. The article examines the design and operational features of tool joint threaded connections (TJTC) of the drill string, which are used to connect drill pipes, subs, bits, stabilizers, and other components. TJTCs must provide high strength, fatigue resistance under tensile, compressive, and bending loads, as well as under torque, while also ensuring tightness, wear resistance, and fast assembly. An important factor in the operation of TJTCs is the correct application of lubricant and adherence to the specified makeup torque, since violation of these conditions may lead to failure of the connection. The paper presents the causes of TJTC failures. When studying TJTC designs, researchers consider a broad range of factors; however, they usually do not take into account the influence of temperature acting on the connection during assembly and during drill string operation in the well. Due to the complexity and high cost of full-scale testing of large and complex equipment (including TJTCs), finite element method (FEM) modeling of their stress–strain state has become widely used. The paper presents a TJTC model constructed in accordance with API standards and determines the stress–strain state of the connection under makeup torque, axial loading, and temperature. Modeling was performed for three cases: when both the pin and box temperatures are 20 °C; when the pin temperature is 20 °C and the box temperature is 100 °C; and when both components are at 100 °C. The results show that as the temperature difference between the pin and box increases, the stresses in the thread roots of the box rise significantly, while the maximum stresses in the pin decrease. The most severe operating conditions occur when the pin temperature is 20 °C and the box temperature is 100 °C under tensile axial load and makeup torque, which is typical for drill string sections located closer to the wellhead. Further research includes modeling heat transfer between the drilling fluid and the TJTC, considering the material's thermal conductivity, and adjusting makeup torque to improve the accuracy of assessing the stress–strain state of TJTCs.

Keywords: drill string; tool joint threaded connection; stress–strain state; stresses; thread turns; temperature.