УДК 622.24.058

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/12>**Василишин В.Я.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Василишин Я.В.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Чорна Ю.В.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

УДОСКОНАЛЕНЕ МУФТОВЕ З'ЄДНАННЯ ОБСАДНИХ І НАСОСНО-КОМПРЕСОРНИХ ТРУБ

Найбільш технологічними для збирання колон в умовах промислів є муфтові різьбові з'єднання. Проте розлади стандартних різьбових з'єднань спричиняють 70% усіх ускладнень з обсадними та насосно-компресорними колонами. Це призводить до значних матеріальних втрат, зниження продуктивності відбору сировини, забруднення надр і довкілля. Особливо гостро проявляється втрата герметичності цих з'єднань під час розвідки та розроблення газових і газоконденсатних родовищ. Насосно-компресорні труби (НКТ), що експлуатуються у свердловинах з обводненістю більше 60% та у глибинно-насосних свердловинах із кривизною більше 14° , не витримують встановленого терміну служби. Передчасний вихід із ладу НКТ відбувається внаслідок агресивної дії пластових вод, органічних кислот, агресивних газів, гідроерозійного впливу, механічного зносу, а також внаслідок втомного руйнування під дією змінних навантажень. Високу ефективність і найвищі технічні показники під час кріплення та експлуатації свердловин у складних гірничо-геологічних умовах і в похило-скерованих і горизонтальних свердловинах показали високогерметичні різьбові з'єднання з вузлом ущільнення типу «метал-метал», але вони мають окремі експлуатаційні вади. У похило-скерованих і горизонтальних свердловинах найбільш ефективними є ущільнення з випуклою поверхнею ніпеля, але таке спряження має меншу площу контакту, вимагає більшого радіального натягу і досягає високих контактних напружень. Швидке настання пластичних деформацій, крім корозії, призводить до відхилень форми поверхонь, зменшення натягу, порушення герметичності, погіршення умов повторного згвинчування. Тому підвищення міцності і герметичності обсадних колон на основі вдосконалення з'єднань із з'єднаним вузлом ущільнення є актуальним і перспективним завданням. Тому актуальним завданням є вдосконалення різьбових з'єднань у напрямі підвищення їхньої надійності та працездатності для умов високих експлуатаційних навантажень. Для їхнього вирішення необхідно провести теоретичні і експериментальні дослідження, на основі яких можна розробити ефективні методи і засоби підвищення надійності кріплення нафтогазових свердловин.

Ключові слова: насосно-компресорна труба, напружено-деформований стан, втомна довговічність, момент затягування, руйнування, втрата герметичності, різьбові з'єднання, муфта, експлуатація свердловин, пластична деформація.

Постановка проблеми. Важливим напрямом підвищення надійності і безпеки будівництва та експлуатації свердловини є вдосконалення конструкції й технології виготовлення з'єднань обсадних труб.

Втрата працездатності обсадної колони пов'язана з втратою необхідної міцності та герметичності її муфтових різьбових з'єднань. Навіть за повної відповідності геометричних параметрів різьбових з'єднань стандартам у таких з'єднаннях виникає широке розсіювання силових параметрів взаємодії, які не витримують експлуатаційних навантажень на обсадну колону у свердловині.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Виявлено тенденцію до прихованого зниження міцності й герметичності різьбових з'єднань обсадних труб і муфт за повної відповідності їхніх геометричних параметрів до стандарту, оскільки останній не регламентує вимоги згвинчування із заданим крутним моментом. Вимога, щоб торець муфти збігався з кінцем різьби труби, є ненадійним критерієм працездатності з'єднання. Тому треба шукати нові технічні рішення для підвищення надійності та забезпечення міцності і герметичності з'єднань, підвищувати працездатність муфтових з'єднань обсадних труб конструкторсько-технологічними методами.

Важливими завданнями для забезпечення надійності з'єднань обсадних колон є такі: правильний вибір ущільнюючих мастил чи спеціальних герметиків, вибір тампонажних розчинів і процесу цементування свердловин, створення необхідного пружного натягу у різьбових з'єднаннях.

Високу ефективність і найвищі технічні показники під час кріплення та експлуатації свердловин у складних гірничо-геологічних умовах і в похило-скерованих і горизонтальних свердловинах показали високогерметичні різьбові з'єднання з вузлом ущільнення типу «метал-метал», але вони мають окремі експлуатаційні вади. Тому підвищення міцності і герметичності обсадних колон на основі вдосконалення з'єднань із вбудованим вузлом ущільнення є актуальним і перспективним завданням.

У світовій промисловій практиці високогерметичні різьбові з'єднання набули широкого застосування, наприклад, закордоном утворився окремий клас «Преміум» з'єднань труб із металічними ущільненнями.

Конструкція високогерметичних з'єднань включає конічні різьби трапецієвидного профілю, ущільнення типу «метал-метал» і упорні торці. Високоміцні різьби типу OTTM і поширеного у світі типу Buttress (відповідно до стандартів Американського нафтового інституту API 5CT і API 5B) витримують набагато більші осьові та згинальні навантаження, ніж трикутні різьби. Проте конструктивно ці різьби не виконують ущільнювальної функції.

Герметизація вказаних з'єднань відбувається завдяки вбудованому ущільненню. Принцип його роботи полягає в тому, що під час згвинчування різьби зовнішня ніпельна поверхня труби входить із радіальним натягом у внутрішню поверхню муфти, і на площі їхнього контакту виникають напруження стиску. Ущільнюючі поверхні можуть мати таку форму: внутрішня – конус, циліндр; зовнішня – конус або випукла поверхня (сфера, бочкоподібна). Крім OTTG, «конус-конус» мають ущільнення фірми Hydril (США): CTS, CTS-4, RB, FJ, Super FJ, FJ-40, EU, Tripleseal; фірми Societe Valures (Франція): VAM, VAM AF, VAM AT-AF, Nev VAM; фірми Nippon Steel (Японія): NS-CC та інші. Випуклу форму ніпеля мають ущільнення Extreme Line, Tenaris Blue, Antares MS, BDS, NK-3SB тощо. В ущільненнях KS Bear, FOX у спряження входять випукла і увігнута поверхні. В ущільненнях фірми Atlas Bredford (США) TS-4S, Jj-4S, FL-4S, Jj-3SS розміщено тефлонові кільця.

Збільшенням моменту згвинчування досягають контактних напружень на упорних плоских або у формі зворотного конуса торцях, основною функ-

цією яких є обмеження згвинчування і досягнення точного осьового позиціонування поверхонь різьби і ущільнення із заданими натягами. Проте значні осьові розтяги, на які розраховані з'єднання «Преміум», зменшують торцеву взаємодію або розкривають стик. Водночас під час завищення напружень можливий розлад торцевих ущільнень у викривлених свердловинах.

Виготовлення з'єднань з ущільненням «метал-метал» пов'язане з низкою високих технологічних умов: ускладнена конструкція, вони вимагають підвищеної точності нарізання та взаємного розміщення ущільнюючих, різьбових та упорних поверхонь. Це необхідно для їхньої одночасної узгодженої взаємодії та досягнення заданих натягів у з'єднанні, оскільки натяги у різьбі і в ущільненні суттєво впливають один на одного.

Такі з'єднання чутливі до недотримання встановлених крутних моментів, особливо до їхнього перевищення. Доцільно зауважити, що в умовах використання на промислах для згвинчування обсадних труб ключів із високими робочими зусиллями виникають пластичні деформації упорних поверхонь різьб і торців цих з'єднань, що відчутно знижує рівень їхньої міцності на розтяг. Саме у місцях пластичних деформацій насамперед проходить корозійне руйнування металу за наявності агресивних компонентів у свердловині.

У похило-скерованих і горизонтальних свердловинах найбільш ефективні ущільнення з випуклою поверхнею ніпеля, але таке спряження має меншу площу контакту, вимагає більшого радіального натягу і досягає високих контактних напружень. Швидке настання пластичних деформацій, крім корозії, призводить до відхилень форми поверхонь, зменшення натягу, порушення герметичності, погіршення умов повторного згвинчування.

Нами запропоновано пристрій для герметизації муфтових з'єднань насосно-компресорних та обсадних труб [1], які використовуються під час спорудження та експлуатації свердловин в умовах високих внутрішніх тисків. Пристрій захищений патентом на корисну модель.

Завдання, яке ставилось під час створення цієї корисної моделі, – підвищити працездатність пристрою завдяки зростанню міцності герметизуючої втулки шляхом зменшення і розподілення деформацій втулки на всю її довжину та підвищення герметичності контакту втулки з трубою завдяки збільшенню його площі і надійності зчеплення.

Поставлене завдання вирішується тим, що поверхні втулки і товщина її стінок криволінійно змінюються по її довжині, а форма торців втулки

і торців труб вибирається незалежно плоскою, конічною, опуклою або увігнутою, причому конічна форма торця відрізняється від плоскої на кут, тангенс якого не перевищує величину коефіцієнта тертя між торцями втулки і труби.

Виконання пристрою із втулкою, у якій поверхні і товщина стінки криволінійно змінюються по її довжині, утворюючи поверхні другого і четвертого порядків, забезпечує під час згвинчування з'єднання деформування кожної криволінійної ділянки і, відповідно, розподілення деформацій на всю довжину втулки. Завдяки цьому на окремих ділянках виникають менші за величиною і пружні за характером деформації, які не досягають значень залишкових пластичних деформацій. Це підвищує міцність втулки, і вона може забезпечити герметичність з'єднання за вищих внутрішніх тисків. Відсутність пластичних деформацій втулки дає змогу згвинчувати з'єднання до досягнення його необхідної міцності, а також відновлення форми і розмірів втулки після розгвинчування з'єднання та її повторного використання.

Виконання контактних торців втулки і труб плоскою, конічною, опуклою або увігнутою форми та незалежний її вибір для втулки і труб дають змогу утворювати найбільш працездатне з'єднання залежно від заданих експлуатаційних умов, розмірів з'єднання і матеріалів його деталей. Наприклад, конічна форма торців забезпечує більшу площу їхнього контакту порівняно з плоскою і, відповідно, вищу герметичність з'єднання. Поєднання опуклого і увігнутого торців теж створює більшу площу контакту і водночас у разі деформації втулки уможливорює поворот її стінки щодо торця труби через проковзування. Це зменшує величину згинальних деформацій стінки втулки, що підвищує її міцність. У разі контакту конічного і плоского торців між ними спочатку утворюється кутовий зазор, який під час подальшого загвинчування з'єднання зменшується аж до повного контакту торців по всій площі шляхом згинальних деформацій і повороту стінки втулки. Це теж зменшує величину деформацій, які припадають на стінки втулки, і підвищує її міцність.

Виконання конічної форми торця такою, що відрізняється від плоскої на кут, тангенс якого не перевищує величину коефіцієнта тертя між торцями втулки і труби, забезпечує краще зчеплення торців, тому що за такого значення кута сила тертя між торцями завжди перевищує поперечну складову сили їхньої взаємодії, яка виникає внаслідок нахилу конічного торця і намагається змістити торець втулки щодо труби.

На рис. 1 зображено загальний вигляд запропонованого пристрою, встановленого у муфтовому з'єднанні труб. Варіанти виконання поверхонь герметизуючої втулки показано на рис. 2, а на рис. 3 – варіанти контакту втулки і труби з торцями різної форми.

Пристрій для герметизації муфтових з'єднань труб (див. рис. 1) складається з втулки 1, що встановлюється між торцями труб 2 і 3, які з'єднані муфтою 4. Поверхні втулки і товщина її стінок криволінійно змінюються по її довжині (див. рис. 2). Втулка може містити одну або кілька криволінійних ділянок, що чергуються по довжині, і може бути виготовлена з матеріалу, відмінного від матеріалу труб. У з'єднанні торці *A, B, C, D* герметизуючих втулок контактують із торцями труб (рис. 3). Як було сказано вище, форма торців втулки і труб може бути плоскою, конічною, опуклою або увігнутою та вибирається незалежно для втулки і для труб. Вибрана конічна форма торця відрізняється від плоскої на кут α , тангенс якого не перевищує величину коефіцієнта тертя між торцями втулки і труби (рис. 3, в).

Пристрій працює так (рис. 1.): під час згвинчування муфтового з'єднання труби 2 і 3 переміщуються назустріч одна одній і стискають втулку 1, внаслідок чого її стінки деформуються. Завдяки їхній криволінійній формі і змінній товщині ці деформації відбуваються у вигляді згину і повороту окремих ділянок стінки і розподіляються по всій довжині втулки. При цьому торці герметизуючої втулки 1 притискаються до торців труб 2 і 3, що забезпечує герметизацію з'єднання. Вибір конічної форми торців забезпечує більшу площу їхнього контакту і вищу герметичність з'єднання порівняно з плоскою формою торців. Поєднання опуклого і увігнутого торців теж має більшу площу контакту, а під час деформації втулки уможливорює поворот і проковзування її стінки щодо торця труби.

Рис. 1. Загальний вигляд пристрою для герметизації муфтових з'єднань труб

Рис. 2. Варіанти виконання поверхонь герметизуючої втулки

Кутовий зазор, який утворюється у разі контакту конічного і плоского торців, під час згинчування з'єднання зменшується аж до повного контакту торців по всій площі шляхом згину і повороту стінки втулки.

Висновки. Економічна ефективність запропонованого пристрою для герметизації муфтових з'єднань труб впливає із простоти його виготовлення та підвищення міцності втулки, герметич-

ності і надійності з'єднання під час його згинчування і під час роботи в умовах високих тисків нафтових і газових свердловин.

Рис. 3. Варіанти контакту втулки і труби

Список літератури:

1. Василишин В.Я. Підвищення працездатності різьбових з'єднань труб нафтового сортаменту : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.12; Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2013. 20 с.
2. Патент на корисну модель № 68732. МПК E21B 17/00 F16L 15/04. Пристрій для герметизації муфтових з'єднань труб / Крижанівський Є.І., Палійчук І.І., Василишин В.Я. Опубліковано: 10.04.2012, Бюл. № 7.
3. Палійчук І.І., Василишин В.Я., Щеглюк П.В., Рокецький С.П. Аналіз проблем та шляхів підвищення надійності і герметичності муфтових з'єднань обсадних колон. *Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ*. 2012. №1 (42). С. 169–176.
4. Василишин В.Я. Вплив крутного моменту згинчування на опір втомлюваності замкових різьбових з'єднань бурових труб. *Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ*. 2010. № 4 (37.). С. 55–58.

Vasylyshyn V.Ya., Vasylyshyn Ya.V., Chorna Yu.V. IMPROVED COUPLING AND PUMP CONNECTION PIPES

The most technologically useful for assembling columns in the conditions of crafts are muffled threaded joints. However, the disorder of standard threaded connections causes 70% of all complications with casing and pump-compressor columns. This leads to significant material losses, reduced productivity of the selection of raw materials, pollution of the earth's interior and the environment. Particularly acute is the loss of tightness of these compounds in the exploration and development of gas and gas condensate fields. Pump-compressor tubes (tubes) operated in wells with a watering capacity of more than 60% and in deep-well wells with a curvature of more than 140 can not withstand the established service life. Premature failure of tuberculosis occurs due to the aggressive action of formation water; organic acids, aggressive gases, hydro-erosive effects, mechanical wear, as well as fatigue failure due to variable loads. High performance and highest technical performance in the mounting and operation of wells in difficult mining and geological conditions and in inclined and horizontal wells showed high tight threaded connections with the metal-metal seals, but they have separate operating defects. Therefore, increasing the strength and tightness of casing by improving connections with the integrated sealing assembly is a topical and promising task.

Therefore, the actual task is to improve threaded joints in order to increase their reliability and performance for conditions of high operating loads. In inclined and horizontal wells, the most effective seals with a convex nipple surface. But this coupling has a smaller contact area, requires more radial tension and reaches high contact voltages. The rapid onset of plastic deformation, in addition to corrosion, leads to deviations in the shape of the surfaces, reducing tension, breaking the tightness, deteriorating conditions of re-screwing. To solve them, it is necessary to conduct theoretical and experimental research, on the basis of which it is possible to develop effective methods and means to increase the reliability of attachment of oil and gas wells.

Key words: pump tube, stress-strain state, fatigue life, tightening torque, fracture, loss of tightness, threaded connections, coupling, well operation, plastic deformation.