

розчину органічного полімеру для омонолічування гравійного матеріалу блокового криогенно-гравійного фільтру.

Ключові слова: гідрогеологічна свердловина, криогенна технологія, криогенно-гравійний фільтр, мінералов'язучий матеріал.

RESEARCH PROPERTIES OF AQUEOUS SOLUTIONS OF ORGANIC POLYMERS CRYOGENIC-GRAVEL COMPOSITE FILTER

Here are the methods and results of studies of the properties of an aqueous solution of the organic polymer composite cryogeni-gravel filter. The prospects of the use of an aqueous organic polymer solution for grouting gravel block cryogenic-gravel, were addressed.

Key words: hydrogeological well, cryogenic technology, cryogenic - gravel filter, mineral - astringent material.

Литература

1. Кожевников А. А., Судаков А. К., Гошовский С. В. Технология оборудования криогенно-гравийными фильтрами водоприемной части буровой скважины // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. труд. – 2009. – Вып. 12. – С. 62–66.
2. Гаврилко В. М. Фильтры водозаборных, водопонизительных и гидрогеологических скважин – М.: Госстройиздат, 1961. – 384 с.
3. Кожевников А. А., Судаков А. К., Гриняк А. А. Гравийные фильтры с использованием эффекта двухфазного инверсного перехода агрегатного состояния вяжущего вещества // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. труд. – 2008. – Вып. 11. – С. 84–88.
4. Желатин. Технические условия: ГОСТ 11293 – 89. – [Дата введения 01.07.91]. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 35 с.
5. Кожевников А. А., Судаков А.К., Дреус А. Ю. Научные основы инновационной технологии оборудования буровых скважин криогенно-гравийными фильтрами // Наука та інновації. – 2015. – Вып. 11. – № 3. – С. 23–38.

Поступила 09.06.16

УДК 622.233.4

М. Є. Чернова, Я. В. Кунцяк

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ОБСАДНИХ КОЛОН ЗА РАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ

Проведено аналіз впливу конструктивних параметрів на витривалість і герметичність різьбових з'єднань бурильних, обсадних і насосно-компресорних труб. Науково обґрунтовано пружно-деформований стан з'єднання труб зі вставним витком. Розроблено конструкції високо герметичних з'єднань тонкостінних труб з вставним витком. Проведено аналітичні дослідження на герметичність при високих значеннях тиску і температури. Визначено оптимальні параметри.

Ключові слова: витривалість, герметичність, з'єднання, конструкції.

Для забезпечення України енергоносіями є необхідним підвищення рівнів видобування вуглеводневої сировини, що є неможливим без збільшення об'єму бурових робіт та без підвищення якості і довговічності свердловин.

Особливо важливою є проблема забезпечення стійкості обсадної колони під час кріплення пластичних порід (зокрема соленосних відкладів). Великі сольові відклади присутні на родовищах Дніпрово-Донецької западини. Головною особливістю буріння та кріплення в цих умовах є наявність хомогенних відкладів нижньої пермі, що включають дуже агресивні, різні за товщиною прошарки бішофітних відкладів, які, в основному, і є причиною ускладнень при бурінні та експлуатації свердловин.

Одним з найбільш поширених видів пошкоджень обсадних колон є втрата герметичності різьбових з'єднань. Герметичність різьбових з'єднань труб – це властивість з'єднань забезпечувати їх непроникність під час навантажень надлишковим тиском рідини чи газу.

Обсадні труби нафтового сортаменту у відповідності до ГОСТ 632-80 виготовляються з різьбою трикутного і трапецеїдального профілю. Трубопрокатними заводами країни значний відсоток продукції випускається з різьбою трикутного профілю (ОТТМ) яка є негерметичною (без упорного типу), а існуючі ущільнюючі мастила і герметики в більшості випадків не забезпечують герметичності таких різьб.

Зазори в різьбі являють собою гвинтові канали і носять назву конструктивних зазорів для забезпечення задовільного згвинчування і розгвинчування різьбових з'єднань. Розміри конструктивних зазорів в багато разів перевищують висоту виступів на бокових гранях витків різьби, яка визначається частотою поверхні. Крім конструктивних зазорів в будь-якому різьбовому з'єднанні є зазори технологічного характеру, які визначаються відхиленням параметрів різьби від номінальних, що виникають в процесі виготовлення, але не виходять за межі ГОСТ 632-80. Конструктивні та технологічні зазори приводять до негерметичності різьбових з'єднань обсадних труб. Отже, при нарізанні різьб необхідно підвищувати точність виготовлення, а при проектуванні їх конструкцій закладати мінімальні допуски на відхилення від оптимальних значень геометричних параметрів.

Оскільки, всі труби нафтового сортаменту з'єднуються конічними різьбами, дослідимо зміну кута піднімання витка конічної різьби. Параметри конічної гвинтової лінії приведено на рис. 1. Розгортка гвинтової лінії приведена на рис. 2.

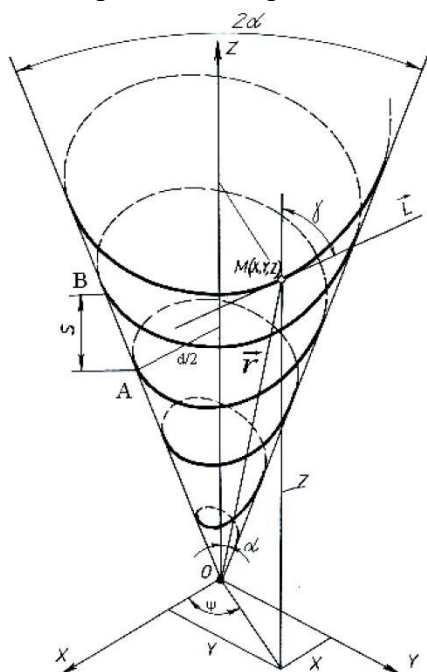


Рис. 1. Параметри конічної гвинтової лінії при переміщенні матеріальної точки $M(x, y, z)$ по твірній гвинтової лінії, навколо вісі різьби на кут 2π , вона переміститься по вісі на величину рівну кроку різьби S

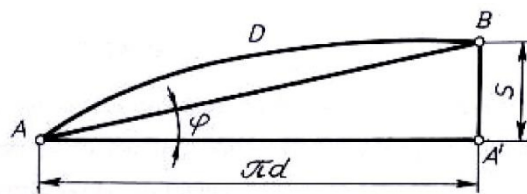


Рис. 2. Розгортка витка конічної гвинтової лінії

Враховуючи, що кут піднімання гвинтової лінії не змінюється і лінія АВ є пряма, одержали залежність для визначення кута φ піднімання гвинтової лінії:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{S}{\pi d} \quad (1)$$

Проте, ця залежність справедлива лише для циліндричних різьб, тому що в конічних різьбах діаметр змінюється і розгортка має криволінійну форму (лінія АДВ, рис. 2).

При проектуванні конічних різьб і визначенні геометричних параметрів в формулі (1) під α розуміють середній діаметр витка різьби, а під φ – середнє значення кута його піднімання за виток. Формула (1) приводить до значних похибок у випадку малого діаметру, великого кроку і конусності різьби.

Виведемо рівняння конічної гвинтової лінії на основі елементів векторного аналізу, використовуючи параметр ψ – кут повороту навколо вісі OZ, S – крок різьби, α – кут нахилу \vec{r} від вісі OZ (S і $\alpha = \text{const}$).

Нехай точка $M(x, y, z)$ належить лінії. Параметричне рівняння лінії:

$$\begin{cases} x = \frac{S \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2\pi} \psi \cos \psi; \\ y = \frac{S \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2\pi} \psi \sin \psi; \\ z = \frac{S \cdot \psi}{2\pi} \end{cases} \quad (2)$$

Запишемо вектор-функцію $\vec{r}(t)$, годографом якої є сама гвинтова лінія:

$$\vec{r}(t) = \frac{S \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2\pi} \psi \cos \psi \cdot \vec{i} + \frac{S \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2\pi} \psi \sin \psi \cdot \vec{j} + \frac{S \cdot \psi}{2\pi} \vec{k} \quad (3)$$

Взявши похідну по часу з рівняння (3) одержимо:

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{S \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2\pi} (\cos \psi - \psi \sin \psi) \vec{i} + \frac{S \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2\pi} (\sin \psi + \psi \cos \psi) \vec{j} + \frac{S}{2\pi} \vec{k} \quad (4)$$

Кут нахилу вектора $\frac{d\vec{r}}{dt}$ до вісі OZ:

$$\cos \gamma = \frac{\frac{dz}{dt}}{\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}} \quad (5)$$

Після підстановки (5) у (4) одержимо:

$$\begin{aligned} \cos \gamma &= \frac{S}{2\pi \sqrt{\frac{S^2}{4\pi^2} \operatorname{tg}^2 \alpha (\cos \psi - \psi \sin \psi)^2 + \frac{S^2}{4\pi^2} \operatorname{tg}^2 \alpha (\sin \psi + \psi \cos \psi)^2 + \frac{S^2}{4\pi^2}}} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\cos^2 \alpha} + \operatorname{tg}^2 \alpha \cdot \psi^2}} \end{aligned} \quad (6)$$

Перепишемо залежність (6) так, щоб у ній були тільки стандартизовані величини, з урахуванням, що $\cos \gamma = \cos(90^\circ - \varphi) = \sin \varphi$, отримаємо:

$$\sin \varphi = \frac{1}{\sqrt{\frac{\pi^2 d^2}{S^2} + \frac{1}{\cos^2 \alpha}}}; \quad (7)$$

Відповідно:

$$\varphi = \arcsin \frac{1}{\sqrt{\frac{\pi^2 d^2}{S^2} + \frac{1}{\cos^2 \alpha}}}; \quad (8)$$

Для циліндричних різьб $\angle \alpha = 0$, тоді

$$\sin \varphi_\alpha = \frac{1}{\sqrt{\frac{\pi^2 d^2}{S^2} + 1}}; \quad (9)$$

Відмінність формули (9) для визначення кута підймання витка різьби полягає у тому, що крім геометричних параметрів діаметра d і кроку різьби S враховується ще й конусність різьби. Застосування одержаної формули дозволяє уточнити розрахунки геометричних параметрів конічних різьб.

За для підвищення експлуатаційних характеристик обсадних та насосно-компресорних труб під час роботи при високих параметрах тисків та температури, а також дії агресивних флюїдів розроблено конструкції муфтових різьбових з'єднань із вставним витком [1].

Схема муфтового різьбового з'єднання зі вставним витком наведено на рис. 3.

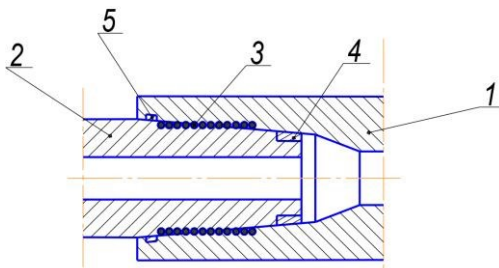


Рис. 3. Схема різьбового з'єднання зі вставним спіральним елементом

Різьбове з'єднання складається з муфти 1 та ніпеля 2. На внутрішній конічній поверхні 5 муфти виконано спіральну канавку 3, а на зовнішній конічній поверхні 4 ніпеля виконано спіральна канавка 3. В порожнині, яка утворена конічними спіральними канавками муфти і ніпеля розміщується вставний конічний спіральний елемент, довжина якого по крайній мірі на 1 виток менша від довжини гвинтових канавок муфти та ніпеля. З обох сторін спіральних канавок виконані

стабілізуючі ділянки, які розміщені на внутрішній конічній поверхні муфти та на зовнішній конічній поверхні ніпеля.

З метою підвищення герметичності з'єднання вставний виток виготовляється із матеріалу, коефіцієнт об'ємного температурного розширення якого більший, ніж матеріалу муфти і труби (ніпеля). По фізико-механічних властивостях найбільш підходить бронза ОСУ-555, БР-ОФ7-02, БР-ОСУ4-4-2,5, оскільки вона володіє високою межею текучості $\sigma_{0,2}$.

Конічні спіральні канавки виконуються на взаємодіючих конічних поверхнях муфти і ніпеля з конусністю, яка менша від базової на величину відношення діаметра поперечного перерізу вставного спірального елемента до довжини конічної поверхні муфти, або ніпеля із спіральною канавкою. Крок спіральних канавок приймається, в залежності від типорозміру, рівнем 1,5–2,5 діаметра поперечного перерізу вставного спірального елемента.

У процесі згвинчування з'єднання відбувається посадка вставного спірального елемента в різьбові конічні канавки ніпеля і муфти. За рахунок того, що спіральний елемент є зі сплаву бронзи ОСЦ-555, коефіцієнт тертя якої по сталі на 50% менший ніж у сталі по сталі, за цієї умови покращується приробіток різьби, запобігаючи задиркам під час згвинчування та розгвинчування різьбового з'єднання.

Для забезпечення процесу багаторазового згвинчування-розгвинчування та за для зменшення крутного моменту з'єднання вставний спіралеваидний елемент у кінці гвинтового каналу муфти фіксується в спеціальному заглибленні, відповідно вільна частина гвинтового каналу міститься на початку муфти.

Зі збільшенням глибини свердловини температура підвищується і за рахунок того, що вставний конічний спіральний елемент, виготовлений з матеріалу, коефіцієнт об'ємного

розширення якого є більшим ніж муфти і ніпеля, виникають додаткові контактні тиски в радіальному напрямку, що забезпечує високу герметичність.

З підвищенням температури відбувається видовження вставного конічного елемента і він заповнює вільні гвинтові канали. Наявність вільних гвинтових каналів унеможлиблює створення контактних напружень вищих за пружність матеріалу. Герметичність такого з'єднання суттєво залежить від точності виготовлення, чистоти поверхні, фізико-механічних властивостей матеріалу, величини крутного моменту згвинчування. Незначні відхилення від оптимальних значень параметрів елементів різьби призведе до негерметичності різьбового з'єднання.

З метою підвищення герметичності та експлуатаційної надійності різьбового з'єднання зі вставним конічним витком на стабілізуючій конічній ділянці ніпельної частини з'єднання виконується кільцеве циліндричне проточування, в якому з діаметральним натягом розміщують герметизуючий елемент, виготовлений з матеріалу, коефіцієнт об'ємного температурного розширення якого є більшим ніж муфти і труби (бронза ОСЦ-555, БРОФ7-0,2 та ін.). Зовнішній діаметр герметизуючого елемента контролюється калібром-кільцем, що забезпечує посадку конічних стабілізуючих ділянок ніпельної і муфтової частин з'єднання з додатним діаметральним натягом Δ_3 . В результаті чого відбуваються деформації муфти і ніпеля, які описуються моментною теорією тонкостінних колових оболонок. Переміщення w серединної поверхні муфти чи труби під дією тиску P без крайового ефекту тиску становить [2]:

$$w = \frac{P}{4\beta^4 D}, \quad (10)$$

де β – коефіцієнт згасання деформацій, $\frac{1}{\text{мм}}$; D – коефіцієнт жорсткості стінки на згин, $\frac{H}{\text{мм}}$.

Коефіцієнт жорсткості оболонки (ущільнюючого герметизуючого елемента):

$$J = \frac{Eh}{R^2}, \quad (11)$$

де E – модуль пружності матеріалу, МПа; h – товщина стінки, мм; R – радіус циліндричної поверхні, мм.

Радіальні переміщення внутрішньої поверхні стінки $w = w(\alpha)$ в довільному перерізі x пружної тонкостінної оболонки пов'язані між собою диференціальним рівнянням четвертого порядку [2]:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(D \frac{d^2 w}{dx^2} \right) + jw = P(x) \quad (12)$$

де $P(x)$ – еквівалентний тиск, що відповідає різниці внутрішнього і зовнішнього тисків на поверхні оболонки і діє у напрямку перпендикулярному до серединної поверхні.

З врахуванням того, що герметизуючий елемент має конічну форму, а внутрішній тиск, який діє на різьбові з'єднання обсадної колони однаковий, після підставлення значень у рівняння (10) та його розв'язку [2] одержимо:

$$w = \frac{P_{gn} \cdot R^2}{Eh} \quad (13)$$

Звідки випливає, що пружно-деформований стан конічної частини герметичного елемента визначається радіальним натягом на конічних ущільнюючих поверхнях, тобто:

$$w = \Delta \quad (14)$$

При підвищенні температури в свердловині в наслідок температурного радіального розширення на конічних поверхнях герметизуючого елемента та стабілізуючої ділянки муфти виникають значні контактні тиски, які пружно деформують герметизуючий елемент і зменшують його на величину:

$$w_k = (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot TR \quad (15)$$

де α_1 і α_2 – коефіцієнти об'ємного температурного розширення герметизуючого елемента і з'єднання.

Додаткові контактні тиски, що при цьому виникають, визначаються співвідношенням:

$$P_k = \frac{Eh}{R}(\alpha_1 - \alpha_2)T. \quad (16)$$

Відповідно, сумарний тиск, що діє на герметизуючий елемент і спричинює його пружну деформацію:

$$P = \frac{P_{вн} \cdot R^2}{Eh} + \frac{Eh}{R}(\alpha_1 - \alpha_2)T. \quad (17)$$

Отже, різниця між коефіцієнтами об'ємного температурного розширення матеріалів герметизуючого елемента та муфти і ніпеля різьбового з'єднання забезпечує підвищення контактної тиску в ущільненні, а, відповідно, і герметичність обсадної та теплоагнітальної колони.

Для того, щоб не вимивалось мастило з різьбового з'єднання під дією тисків та промивальної рідини на стабілізуючій ділянці муфти зі сторони торця додатково розміщують герметизуючий елемент з фторвуглеводневого матеріалу (зокрема фторопласт Ф4М та ін.). Таким чином дане різьбове з'єднання під час експлуатації в зоні високих температур і тисків володіє підвищеною герметичністю і має технічні переваги над іншими конструкціями з'єднань зі вставними витками.

Експериментальні та промислові дослідження даного типу герметизації різьбових з'єднань обсадних та теплоагнітальних колон підтвердили їх високу ефективність і надійність.

Висновки

1. На основі аналізу конструктивних особливостей конічних різьбових з'єднань удосконалена формула розрахунку кута підйому конічної гвинтової лінії, застосування якої дозволяє уточнити розрахунки геометричних параметрів різьб та внести корективи в способи і технологію зміцнення різьб та підвищення експлуатаційних характеристик обсадних та бурильних колон.

2. Розроблено високо герметичні конструкції конічних різьбових з'єднань тонкостінних труб зі вставним витком (А.с. 1830409). Досліджено пружно-деформований стан з'єднання за термоциклічних процесів. На основі аналізу результатів дослідження визначено раціональні параметри з'єднання та герметизуючих елементів, що забезпечують герметичність і довговічність обсадних та теплоагнітальних колон.

Проведен анализ влияния конструктивных параметров на долговечность и герметичность резьбовых соединений бурильных, обсадных и насосно-компрессорных труб. Научно обосновано упругодеформированное состояние соединений труб с вставным витком. Разработана конструкция высокогерметических соединений тонкостенных труб с вставным витком. Проведено аналитические исследования на герметичность при высоких значениях давлений и температуры. Определены оптимальные параметры.

Ключевые слова: выносливость, герметичность, соединение, конструкции.

ENSURE THE TIGHTNESS OF THE CASING BY DESIGN FEATURES THREADED CONNECTIONS

The article deals with the impact analysis of the design factors on the persistence and tightness of threaded pipe joints of drill pipes, casing tubes and pipe-compressor tubing strings. The elastically deformed state of the pipe junction with insertion coil is theoretically substantiated. The patterns of tight points of thin wall pipes with insertion coil are developed. The tightness theoretical investigations under high pressure and temperature are performed. The optimal parameters are determined.

Key words: endurance, integrity, connection, design.

Література

1. Пат. 57111 Україна, МПК Е 21 В 17/02, Е 21 В 17/042. Різьбове з'єднання обсадних та насосно-компресорних труб / М. Є.Чернова, В. М. Яворський, Б. О. Чернов, В. Б. Чернов. – Заявл. 22.07.10; Опубл. 10.02.11; Бюл. № 3.
2. Чернов Б. О., Чернова М. Є, Чернов В. Б. Підвищення експлуатаційних характеристик обсадних колон шляхом удосконалення конструкцій різьбових з'єднань // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ – Івано-Франківськ: «Факел», 2011. – С. 91–95.

Надійшла 11.06.16

УДК: 622.248.33

Ю. Л. Кузин, канд. техн. наук, **Д. А. Судакова**

*Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»,
г. Днепр, Украина*

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ ПОГЛОЩАЮЩИХ ГОРИЗОНТОВ БУРОВЫХ СКВАЖИН

Рассмотрены тампонажные термопластичные материалы. Предложено использовать для тампонирувания поглощающих горизонтов бытовые отходы на основе полиэтилентерефталата. Произведен качественный анализ тампонажных материалов. Показано преимущества применения тампонажного материала на основе полиэтилентерефталата.

Ключевые слова: *поглощение промывочной жидкости, тампонаж, термопластичный материал, полиэтилентерефталат.*

Анализ последних исследований и определение нерешенной проблемы

В качестве тампонажных термопластичных материалов (ТПМ), до настоящего времени, использовались различные полимеры и мономеры относящиеся к группе термопластов. Термопласты характеризуются тем, что могут расплавляться при нагревании и вновь затвердевать при охлаждении. Этот процесс может повторяться многократно, если нагрев не превышает того предела, при котором полимер разлагается.

В промышленных масштабах, в качестве ТПМ применялись только нефтяные битумы. К основным недостаткам битума, как тампонажного материала, относится его способность релаксировать во времени: при перепаде давления 0,3–0,5 МПа он способен течь даже при температуре +15 °С. Расплав битума имеет плотность близкую к плотности воды и в среде промывочной жидкости способен расслаиваться и всплывать. Битум плохо разбуривается и способен загрязнять буровой инструмент. Известны данные о его канцерогенности и вредном влиянии на окружающую среду. Из-за этих и других недостатков, битумы не нашли широкого применения в качестве тампонажного материала.

С целью устранения недостатков присущих смесям на битумной основе, параллельно в Национальном горном университете – под руководством А. М. Бражененко [1] и в Санкт-Петербургском государственном горном институте – В. С. Литвиненко [2], выполнены работы по разработке принципиально новых нетрадиционных технологий тампонирувания поглощающих горизонтов.

Отличительной особенностью предложенных технологии является то, что ТПМ с низкой температурой плавления доставляется в зону осложнения в твердом гранулированном виде, где нагревается до жидкого состояния забойным тепловым