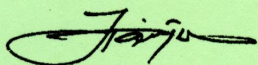


622.245.1(043)
П 14

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

ПАЛІЙЧУК Ігор Іванович



УДК 622.245.1

**ПІДВИЩЕННЯ ГЕРМЕТИЧНОСТІ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ
ОБСАДНИХ ТРУБ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН**

05.15.06 - Розробка нафтових і газових родовищ

АВТОРЕФЕРАТ

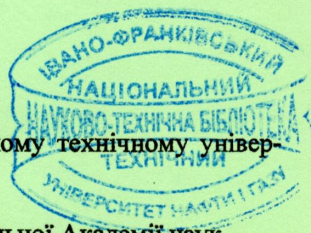
дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2010

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.



Науковий керівник: член-кореспондент Національної Академії наук України, доктор технічних наук, професор **КРИЖАНІВСЬКИЙ Євстахій Іванович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, ректор, завідувач кафедри нафтогазового обладнання.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **МИСЛЮК Михайло Андрійович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, професор кафедри буріння нафтових і газових свердловин;

кандидат технічних наук, доцент **ТЕРШАК Богдан Андрійович**, Науково-дослідний і проектний інститут (НДПІ) ВАТ "Укрнафта", м. Івано-Франківськ, заступник директора НДПІ з питань будівництва свердловин.

Захист спеціалізованого технічного вул. Ка
З дисертації Івано-Франківський вул. Ка
Авторы
Вчений спеціаліст кандидат

на засіданні національному
бібліотеці Івано-а адресу:
М. Ковбасюк



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Надійне забезпечення енергоресурсами є основою зміцнення економічного потенціалу України. Для цього необхідні зростання обсягів та інтенсифікація видобування енергетичної сировини за рахунок збільшення глибин буріння, спорудження похило-скерованих і горизонтальних свердловин. Ефективність і безпека експлуатації нафтових і газових свердловин у складних гірничо-технічних умовах залежить від якості та надійності обсадних колон, що потребують удосконалення їх конструкцій і технологій виготовлення.

Найбільш технологічними для збирання обсадних колон в умовах промислів є муфтові різьбові з'єднання. Однак ці різьби конструктивно негерметичні, а застосовувані герметики і засоби повторної герметизації часто не витримують високих експлуатаційних навантажень, які діють у свердловині. Розлади стандартних різьбових з'єднань є причиною 70 % усіх ускладнень з обсадними колонами. Це призводить до значних матеріальних затрат, зниження продуктивності відбору сировини, забруднення надр і довкілля. Особливо гостро виявляється втрата герметичності при розвідці та розробці газових і газоконденсатних родовищ.

Аналіз якості кріплення свердловин по ВАТ "Укрнафта" за сім років показав, що у 33 % споруджених свердловин виникали міжколонні тиски. Їх основною причиною була негерметичність різьбових з'єднань. Міжколонні перетікання і газопрояви відбувались у 19 свердловинах Долинського нафтопромислового району Прикарпаття. Це спричинило додаткові затрати на їх повторну герметизацію спеціальними методами. Проте внаслідок негерметичності з'єднань обсадних труб не вдалося відремонтувати три свердловини, які переведені у дефектні зі спеціальним режимом експлуатації. Тому підвищення герметичності обсадних труб при кріпленні нафтових і газових свердловин залишається актуальною проблемою.

Найбільш перспективним напрямом забезпечення герметичності обсадних колон є муфтові з'єднання з вузлами ущільнень, які широко застосовують у світовій практиці. Проте, як і вітчизняні з'єднання типу ОТГГ, вони потребують високої точності виготовлення для одночасного забезпечення міцності різьби та герметичності вузла. Відхилення при виготовленні з'єднань ОТГГ, які допускає чинний стандарт, значно знижують їх надійність.

Тому актуальним завданням є удосконалення таких муфтових з'єднань обсадних труб у напрямі підвищення їх герметичності та ремонтпридатності для умов високих експлуатаційних навантажень. Для її вирішення необхідно провести теоретичні та експериментальні дослідження, на основі яких можна розробити ефективні методи і засоби підвищення герметичності з'єднань обсадних колон при кріпленні нафтогазових свердловин.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно з договором № 2/35-Р (248/09-Р) між ВАТ "Укрнафта" та ІФНТУНГ у рамках науково-дослідної теми Д-9-10-Ф "Удосконалення наукових основ управління технологічними процесами видобування та транспортування нафти і газу" (ДР № 0110U000145) і відповідає основним напрямам Державної науково-технічної програми "Ресурс" (Постанова КМУ № 1331 від 08.10.2004 р.).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення герметичності та ремонтпридатності різьбових з'єднань обсадних труб шляхом удосконалення вузлів ущільнення з врахуванням експлуатаційних навантажень.

Поставлена мета досягається шляхом вирішення таких завдань:

1. Обґрунтування напрямків підвищення герметичності різьбових з'єднань обсадних труб та удосконалення методів їх розрахунку і проектування.
2. Розроблення та програмна реалізація аналітичної моделі пружно-деформованого стану різьбових з'єднань обсадних труб з вузлом ущільнення.
3. Аналітичні дослідження впливу конструктивних та експлуатаційних чинників на герметичність різьбових з'єднань обсадних труб ОТТГ.
4. Удосконалення різьбових з'єднань обсадних труб ОТТГ з підвищенням їх надійності і ремонтпридатності та розроблення методики їх проектування і технологічного забезпечення для заданих умов експлуатації.
5. Розроблення методики експериментальних досліджень удосконалених з'єднань типу ОТТГ та проведення їх дослідних випробувань.
6. Розроблення технологічного способу підвищення і відновлення герметичності з'єднань ОТТГ та проведення його дослідної апробації.

Об'єкт дослідження – герметичність обсадних колон нафтових і газових свердловин.

Предмет дослідження – герметизуюча здатність муфтових різьбових з'єднань обсадних труб типу ОТТГ під дією експлуатаційних навантажень.

Методи дослідження. Для розрахунку параметрів пружно-деформованого стану з'єднання муфти і труби під дією натягів, внутрішнього і зовнішнього тисків та осьової сили використані основні положення теорії пружності, моментної теорії циліндричних оболонок, формули Ламе та сучасні системи програмування. Для аналітичних та експериментальних досліджень залежності герметичності з'єднань ОТТГ від конструктивних і експлуатаційних чинників застосовані методи моделювання умов роботи обсадної колони у свердловині. Отримані експериментальні результати оброблені методами математичної статистики та узгоджуються з теоретичними висновками.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Одержало подальший розвиток використання моментної теорії циліндричних оболонок для опису напружено-деформованого стану муфтових з'єднань обсадних труб ОТТГ завдяки застосуванню формул деформаційно-силових параметрів для коротких ділянок зі стінками лінійно змінної товщини.
2. Вперше отримано формули контактного тиску і деформаційно-силових параметрів, які виникають на ділянках ущільнення і різби у з'єднанні муфти і труби під дією радіальних натягів та експлуатаційних тисків.
3. Удосконалено методику розрахунку радіальних і згинальних деформацій нетонкостінних ділянок з'єднання ОТТГ завдяки зведенню дії поверхневих тисків до вигинів серединних поверхонь стінок на основі формул Ламе.
4. Для врахування пружної взаємодії усіх ділянок муфти і труби у з'єднанні розроблено систему рівнянь рівноваги їх крайових перетинів, контактних тисків, деформацій і натягів, яка вперше включає радіальні зміщення, повороти,

згинальні моменти і поперечні сили, що виникають у стінках з'єднання внаслідок дії натягів, внутрішнього і зовнішнього тиску та осової сили.

Основні положення, що захищаються:

1. Програмна аналітична модель складного пружно-деформованого стану з'єднань типу ОТГГ, яка дозволяє визначати контактні тиски і деформаційно-силові параметри на контактних і неkontaktних ділянках муфти і труби, що виникають у їх стінках внаслідок натягів в ущільненні і різьбі та дії на обсадну колону експлуатаційних тисків і осових навантажень.

2. Нові закономірності впливу конструктивних і експлуатаційних чинників на герметичність з'єднань ОТГГ, які дозволяють обґрунтувати напрямки підвищення їх працездатності у процесі проектування та виготовлення.

3. Удосконалені конструкції з'єднань типу ОТГГ підвищеної надійності і ремонтпридатності, спосіб відновлення герметичності стандартних з'єднань ОТГГ, методики проектування і технологічного забезпечення їх конструктивних параметрів, які забезпечують підвищення їх працездатності в умовах експлуатаційних навантажень, що діють на обсадну колону у свердловині.

Практичне значення одержаних результатів.

Створено удосконалені конструкції різьбових з'єднань обсадних труб типу ОТГГ підвищеної надійності і ремонтпридатності та спосіб відновлення герметичності стандартних з'єднань ОТГГ. Розроблено методики проектування і технологічного забезпечення цих з'єднань на основі програмування конструктивних параметрів, які підвищують їх працездатність в експлуатаційних умовах.

Розроблено методику експериментальних досліджень удосконалених з'єднань залежно від конструктивних параметрів та проведено їх дослідні випробування, які підтвердили підвищення їх герметичності та можливість узгодження товщин стінок і натягів, дозволили встановити параметри їх надійної герметизації та придатність для використання у експлуатаційній колоні.

Розроблено спосіб відновлення з'єднань ОТГГ шляхом газопломеневого металопорошкового наплення герметизуючого шару. Його дослідна апробація підтвердила підвищення герметичності відновлених з'єднань при високих опресувальних тисках та ефективність застосування у промислових умовах.

Одержані теоретичні і практичні результати рекомендовані для впровадження у навчальний процес підготовки фахівців з нафтогазової справи у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу.

Особистий внесок здобувача. Автор особисто вперше:

– застосував у повному обсязі моментну теорію коротких циліндрів зі стінками лінійно змінної товщини [1], отримав формулу контактного тиску, який утворюється при пружній взаємодії кільцевих ділянок, з'єднаних з натягом [4], застосував формули Ламе для розрахунку одночасних радіальних і згинальних деформацій стінок нетонкостінних ділянок з'єднань ОТГГ [2] і для зведення дії поверхневих тисків до вигинів їх серединних поверхонь [3];

– вивів систему рівнянь рівноваги крайових перетинів, контактних тисків, балансу деформацій і натягів, які описують закономірності пружної взаємодії стінок муфти і труби у з'єднанні [6] та розробив програмну модель пружно-

деформованого стану з'єднань типу ОТГГ, яка розраховує контактні тиски і деформаційно-силові параметри на їх ділянках, утворені внаслідок натягів в ущільненні і різьбі та дії експлуатаційних навантажень на колону [7];

– провів аналітичні дослідження закономірностей впливу конструктивних і експлуатаційних чинників на герметичність з'єднань типу ОТГГ, встановив залежності контактних тисків у їх ущільненні і різьбі від поєднання і зміни цих чинників, визначив умови надійної герметизації цих з'єднань [10];

– розробив елементи удосконалених муфтових з'єднань обсадних труб ОТГГ і способу відновлення їх герметичності [8, 9], методики проектування і технологічного забезпечення цих з'єднань, які підвищують їх надійність і працездатність в умовах високих експлуатаційних навантажень [5, 11];

– розробив методику експериментальних досліджень і промислових випробувань удосконалених з'єднань та технологічні режими газопломенового металопорошкового напilenня для відновлення герметичності з'єднань ОТГГ [12].

Автор брав участь в налагодженні дослідно-промислового устаткування, провів експериментальні дослідження та аналіз одержаних результатів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати роботи доповідались на Міжнародному симпозіумі "Мінеральні ресурси та інженерія доквілля" (Румунія, м. Байя-Маре, 2008 р.); Міжнародній науково-технічній конференції "Нафтогазова енергетика: проблеми і перспективи" (м. Івано-Франківськ, 2009 р.); науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу ІФНТУНГ (м. Івано-Франківськ, 2008-2010 рр.). У повному обсязі дисертаційна робота доповідалась і обговорювалась на науковому семінарі кафедри буріння нафтових і газових свердловин ІФНТУНГ у 2010 році.

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 12 наукових праць, з яких 7 статей у наукових журналах [1-7], затверджених ВАК України, 2 патенти України на винаходи [8, 9] та 2 тез доповідей у матеріалах конференцій [10, 11], у тому числі 3 публікації одноосібні [3, 4, 11].

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, додатків і списку використаної літератури, який містить 142 джерела. Дисертація викладена на 220 сторінках та містить 54 рисунки і 28 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, висвітлені наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проведено аналіз причин ускладнень з обсадними колонами і способів підвищення надійності їх різьбових з'єднань, методів розрахунку пружних деформацій їх елементів, обгрунтовані мета і завдання досліджень.

Підвищенню герметичності і надійності роботи муфтових з'єднань обсадних колон присвячені роботи таких вітчизняних і зарубіжних учених, як С.Ф. Білик, А.І. Булатов, П.А. Вислобіцький, Т.Ю. Єременко, Я.С. Коцкулич, В.В. Кравець, Є.І. Крижанівський, Д.Ю. Мочернюк, Ю.А. Песляк, А.Є. Сароян, В.І. Семин,

М.В.Сенюшкович, О.В. Тищенко, Б.О. Чернов, М.Д. Щербюк, М.В. Якубовський, Р.С. Яремійчук та інших. Ними розроблені удосконалені конструкції муфтових з'єднань обсадних труб, методи їх розрахунків на міцність, розроблені способи відновлення герметичності різьбових з'єднань обсадних колон у свердловинах.

Втрата працездатності колони здебільшого пов'язана з розладами їх різьбових з'єднань. Причинами цього є технологічні відхилення при їх виготовленні і згинчуванні, які неминучі у промислових умовах. У з'єднаннях муфт і труб виникає широке розсіювання силових параметрів взаємодії, що не завжди забезпечує їх необхідну міцність чи герметичність при експлуатаційних навантаженнях.

Високі технічні показники при кріпленні свердловин мають муфтові з'єднання з конічною трапецевидною упорною різьбою і вбудованим вузлом ущільнення типу "конус у конус". Вони показали високу ефективність у складних гірничо-технічних умовах. Але промислова практика виявила їх окремі експлуатаційні недоліки. Тому актуальним завданням є підвищення герметичності обсадних колон на основі удосконалення їх муфтових різьбових з'єднань з вузлом ущільнення.

Герметичність ущільнення і міцність різьби цих з'єднань залежать від силової взаємодії контактних і неконтактних ділянок муфти й труби. У відомих моделях напружено-деформованого стану муфтових з'єднань обсадних труб використані спрощені розрахунки за формулами Ламе, які не враховують вигини стінок змінної товщини, і моментної теорії довгих циліндрів постійної товщини, які не розкривають закономірності утворення і розподілу контактних тисків у з'єднанні.

У другому розділі виконані теоретичні дослідження формування герметизуючої здатності з'єднання обсадної труби і муфти з вузлом ущільнення та розроблена його пружно-деформаційна модель з урахуванням натягів, внутрішнього і зовнішнього тисків та осьових навантажень.

Муфта і труба ОТТГ описані як сукупність конструктивно подібних ділянок зі змінною товщиною стінки. Їх геометричні параметри виражені лінійними функціями у власних координатах ділянки та у загальній системі координат з'єднання.

При згинчуванні труба пружно розтискає муфту, а муфта пружно стискає трубу за рахунок радіальних натягів Δ_1 у ущільненні і Δ_3 у різьбі. Тому на їх контактних поверхнях утворюються контактні тиски P_1 у ущільненні і P_3 у різьбі (рис. 1), від чого радіуси ділянок муфти збільшуються, а труби – зменшуються.

У свердловині діють експлуатаційні чинники: внутрішній P_V і зовнішній P_Z тиски (рис. 1), осьове навантаження Q , які змінюють пружно-деформований стан з'єднання. Тиск P_V діє зсередини і збільшує радіус ділянок труби, а тиск P_Z діє на муфту ззовні й зменшує її радіус. Від цієї дії контактні тиски P_1 і P_3 зростають.

Внаслідок змінної товщини і жорсткості стінок радіальні деформації (вигини) $w(x)$ стінок муфти і труби та контактні тиски P_1 і P_3 нерівномірні вздовж ділянок.

Радіальні зміщення $w(x)$ стінки ділянки знаходять із розв'язку основного диференційного рівняння моментної теорії 4-го порядку зі змінними коефіцієнтами

$$\frac{1}{\rho^4} \cdot \frac{1}{x} \cdot \frac{d^2}{dx^2} \left(x^3 \cdot \frac{d^2 w}{dx^2} \right) + w(x) = \frac{R^2}{E \cdot \operatorname{tg} \varphi} \cdot \frac{P(x)}{x}, \quad (1)$$

де x – координата (відстань від "нуля" ділянки, де її товщина умовно дорівнює 0);

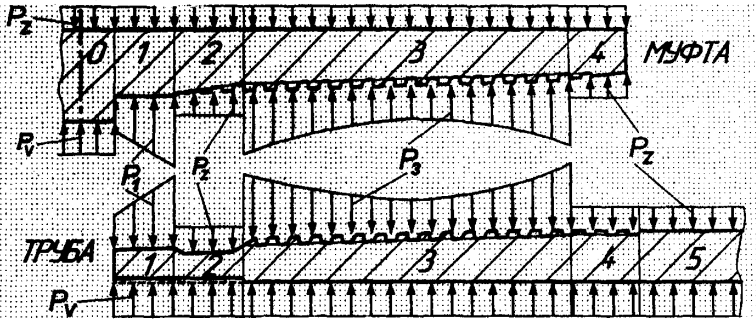


Рис. 1. Схема взаємодії ділянок муфти і труби у з'єднанні ОТГГ під дією тисків: експлуатаційні тиски: P_V – внутрішній, P_Z – зовнішній; контактні тиски: P_1 – у ущільненні, P_3 – у різьбі.

ρ – коефіцієнт згасання деформацій; R – серединний радіус; E – модуль пружності; φ – кут нахилу твірної конуса; $P(x)$ – тиски, зведені до серединної поверхні.

Розв'язок однорідного рівняння (1), права частина якого дорівнює 0, відомий $w(x) = x^{-0.5} \cdot (C_1 \cdot \text{ber}'y + C_2 \cdot \text{bei}'y + C_3 \cdot \text{ker}'y + C_4 \cdot \text{kei}'y)$, (2)

де $C_1 \dots C_4$ – постійні коефіцієнти, які визначають за крайовими умовами; $\text{ber}y$, $\text{bei}y$, $\text{ker}y$, $\text{kei}y$ – функції Бесселя; $'$ (штрих) – похідна по y : $y = 2\rho x^{0.5}$.

Внаслідок вигинів $w(x)$ у стінці виникають: ν – кут повороту перетину, M – згинальний момент, N – поперечна сила (рис. 2). Їх визначають із (2) за похідними:

$$\nu = \frac{dw}{dx}; \quad M = D \frac{d^2w}{dx^2}; \quad N = \frac{dM}{dx}; \quad D = \frac{E \cdot S^3}{12(1-\mu^2)} = \frac{E \cdot \text{tg}^3 \varphi \cdot x^3}{12(1-\mu^2)}, \quad (3)$$

де D – жорсткість стінки на згин; S – товщина стінки; μ – коефіцієнт Пуассона.

Параметри (2-3) описують вигини стінки, зумовлені лише крайовим опиранням, тобто дією на неї вигинів суміжних ділянок у їх крайових перетинах.

За методикою С.П.Тимошенка для моментної теорії пластинок і оболонок знайдено вираз радіальних зміщень w^* стінки під дією контактної тиску P_K

$$w^* = \frac{R^2}{E \cdot \text{tg} \varphi} \cdot \frac{P_K(x)}{x}. \quad (4)$$

Ця дія викликає у перетині x стінки поворот ν^* , згинальний момент M^* і поперечну силу N^* , які отримуємо за моментною теорією (3) диференціюванням (4).

Підставивши (4) та інтегруючи основне рівняння (1), знаходимо загальний вираз контактної тиску $P_K(x)$, який виникає на контактних ділянках муфти і труби, з'єднаних з натягом, з лінійно змінною товщиною стінок (в ущільненні й у різьбі)

$$P_K(x) = K_1 \cdot x + K_2 \cdot x^2 + K_3 + K_4 \cdot x \cdot \ln x, \quad (5)$$

де $K_1 \dots K_4$ – постійні коефіцієнти, які визначаємо за умовами навантаження.

Також знайдені параметри w_0 , ν_0 , M_0 у стінках від дії постійного тиску P_0 .

У результаті повний пружно-деформований стан стінки кожної i -тої ділянки описується сумою відповідних деформаційних і силових параметрів w , ν , M , N :

$$A_i(x) = a_i + a_i^* + a_{oi}, \quad (6)$$

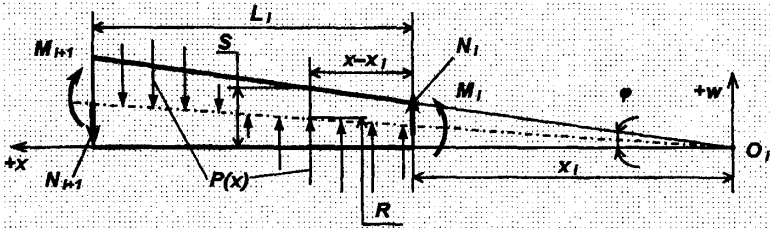


Рис. 2. Узагальнена розрахункова схема навантаження стінки i -тої ділянки муфти чи труби з лінійно змінною товщиною:

$P(x)$ – розподілений тиск, зведений до серединної поверхні; у крайових перетинах: M – згинальний момент, N – поперечна (перерізуюча) сила.

де $A_i(x)$ – сумарний деформаційний чи силовий параметр (один з w , v , M , N); a_i – параметр (2-3) від вигинів сусідніх ділянок; a_i – відповідний параметр від контактного тиску; a_{0i} – відповідний параметр від експлуатаційного тиску.

За принципом рівноваги кожного параметра у спільному крайовому перетині i -тої та j -тої ділянок для усіх таких перетинів з'єднання (рис. 1) складена система рівнянь, лінійних відносно коефіцієнтів $C_1 \dots C_4$ і $K_1 \dots K_4$, такого виду:

$$A_i(x_{i,j}) = A_j(x_{j,i}) \rightarrow a_{i,j} + a_{i,j}^* - a_{j,i} - a_{j,i}^* = -a_{0i,j} + a_{0j,i}. \quad (7)$$

В ущільненні й у різьбі пружна радіальна взаємодія стінок муфти і труби одна на одну однакова за величиною і протилежна за напрямком. Тому принцип рівноваги контактних тисків вздовж контактної ділянки виражено умовою

$$P_m(x_m) + P_t(x_t) = 0, \quad (8)$$

де x_m і x_t – координати перетину з'єднання у власних системах відліку муфти і труби; P_m і P_t – контактний тиск, розрахований за (5) окремо для муфти і труби.

Системи координат муфти і труби протилежні. Тому аргументи x_m і x_t виразили через X у спільній системі координат з'єднання, а функції P_m і P_t (5) розклали у ряд Тейлора відносно перетину C посередині контактної ділянки за похідними:

$$P_m(X) + P_t(X) = \{P_{mc} + P_{tc}\} - (X - X_c)\{P'_{mc} - P'_{tc}\} + \frac{1}{2}(X - X_c)^2 \times \\ \times \{P''_{mc} + P''_{tc}\} - \frac{1}{6}(X - X_c)^3 \{P'''_{mc} - P'''_{tc}\} + \frac{1}{24}(X - X_c)^4 \{P^{IV}_{mc} + P^{IV}_{tc}\} = 0, \quad (9)$$

де C – індекс, який позначає значення функції та її похідних у перетині C .

Вирази у фігурних дужках (9) прирівняні до 0, бо $(X - X_c) \neq 0$. Із них отримані рівняння системи, необхідні для визначення коефіцієнтів $K_1 \dots K_4$ контактних тисків.

При згвинчуванні муфти і труби радіальні натяги Δ в ущільненні й різьбі компенсуються розширенням W_m стінки муфти та звуженням W_t стінки труби. Тому сума радіальних зміщень стінок муфти W_m (додатніх) і труби W_t (від'ємних) у з'єднанні дорівнює радіальному натягу Δ вздовж контактної ділянки. Цей принцип балансу радіальних деформацій і натягу виразили умовою

$$W_m(x_m) - W_t(x_t) = \Delta. \quad (10)$$

Рівняння (10) математично цілком аналогічне (8), але містить функції радіальних зміщень стінок W , які згідно з (6) мають три доданки. Для нього теж застосовано розроблену методику розкладу функцій у ряд Тейлора. Із (10) отримано:

$$W_m(x_m) - W_r(x_r) = \{W_{mC} - W_{rC}\} - (X - X_C)\{W'_{mC} + W'_{rC}\} + \frac{1}{2}(X - X_C)^2 \times \\ \times \{W''_{mC} - W''_{rC}\} - \frac{1}{6}(X - X_C)^3 \{W'''_{mC} + W'''_{rC}\} + \frac{1}{24}(X - X_C)^4 \{W^{IV}_{mC} + W^{IV}_{rC}\} = \Delta, \quad (11)$$

при цьому у серединному перетині C баланс деформацій і натягу $\{W_{mC} - W_{rC}\} = \Delta$.

Із виразів у фігурних дужках (11) отримані інші необхідні рівняння системи.

Ділянки з'єднання ОТГГ не є тонкостінними. Зміщення W контактних поверхонь відбувається за рахунок кільцевих (тангенційних) деформацій, які враховує моментна теорія (2-4), і радіальних зміщень шарів по товщині стінки, які враховує теорія Ламе. Тому формули Ламе перетворені так, що фактичні деформації поверхонь розраховуються як добуток деформацій серединної поверхні (2-4) і знайдених коефіцієнтів зміщення контактної поверхні відносно серединної по товщині.

Це зроблено для контактних поверхонь ущільнення і різьби ($\alpha = 0,5 \text{ tg } \varphi$):

– зміщення внутрішньої поверхні муфти під дією контактного і зовнішнього тисків:

$$w_V = \frac{P_V \cdot R_V^2 \cdot R_V}{E \cdot S \cdot R} \cdot \left(\frac{1 - \mu}{2} + \frac{1 + \mu}{2} \cdot \frac{R_Z^2}{R_V^2} \right) - \frac{P_Z \cdot R_Z^2 \cdot R_V}{E \cdot S \cdot R} \cdot \left(\frac{1 - \mu}{2} + \frac{1 + \mu}{2} \cdot \frac{R_V^2}{R_Z^2} \right) = \\ = \frac{R^2}{E \text{tg } \varphi \cdot x} \left(\frac{1 - \mu}{2} (1 - \alpha x)^3 + \frac{1 + \mu}{2} (1 - \alpha x)(1 + \alpha x)^2 \right) - \frac{R^2}{E \text{tg } \varphi \cdot x} \frac{P_Z}{P_V} (1 - \alpha x)(1 + \alpha x)^2; \quad (12)$$

– зміщення зовнішньої поверхні труби під дією контактного і внутрішнього тисків:

$$w_Z = \frac{P_V \cdot R_V^2 \cdot R_Z}{E \cdot S \cdot R} \cdot \left(\frac{1 - \mu}{2} + \frac{1 + \mu}{2} \cdot \frac{R_Z^2}{R_V^2} \right) - \frac{P_Z \cdot R_Z^2 \cdot R_Z}{E \cdot S \cdot R} \cdot \left(\frac{1 - \mu}{2} + \frac{1 + \mu}{2} \cdot \frac{R_V^2}{R_Z^2} \right) = \\ = \frac{P_V R^2}{E S} (1 + \alpha x)(1 - \alpha x)^2 - \frac{P_Z R^2}{E S} \left(\frac{1 - \mu}{2} (1 + \alpha x)^3 + \frac{1 + \mu}{2} (1 - \alpha x)^2 (1 + \alpha x) \right). \quad (13)$$

Аналітична модель пружно-деформованого стану з'єднань типу ОТГГ програмно реалізована у комп'ютерній системі програмування MatLab.

У третьому розділі висвітлені аналітичні дослідження впливу конструктивних та експлуатаційних чинників на герметичність муфтових з'єднань обсадних труб ОТГГ та залежності контактних тисків у їх ущільненні й різьбі від радіальних натягів, товщин стінок, внутрішніх і зовнішніх тисків, осевих навантажень.

З'ясовано, що розподіли контактних тисків нерівномірні вздовж ділянок 1 і 3 (рис. 1). Від натягу в різьбі муфта стискає трубу, але ненавантажені стінки ділянок 2 і 4-5 чинять опір і вигинаються. Стінки труби повертаються до середини так, що тиск P_K посередині різьби зменшується (рис. 3). В ущільненні 1 стінка труби теж стискається. Але стінка канавки 2, стиснена по краях, вигинається назовні і повертає стінку в ущільненні 1 до середини. Тому тут контактний тиск спадає до торця труби (рис. 3). Цей спад є визначальним для герметичності ущільнення.

Контактний тиск P_K більший у труб більшої товщини, які жорсткіші й чинять більший опір стисканню (рис. 3: пари ліній 1-2, 3-4). Але більший діаметр зменшує відносну товщину стінок, тому контактний тиск P_K менший (лінії 1-3, 2-4).

Контактний тиск P_K більший, якщо більші натяги в ущільненні Δ_1 (рис. 3: лінії 1-5, 2-6) та у різьбі Δ_3 (лінії 4-7). Більший тиск P_K збільшує деформації стінок контактних ділянок 1 і 3, що впливає на суміжні ділянки і викликає їх деформації.

Деформації від ущільнення до різьби і навпаки передаються через деформації стінки канавки 2. Від більшого натягу ущільнення Δ_1 радіус труби на ділянці 2

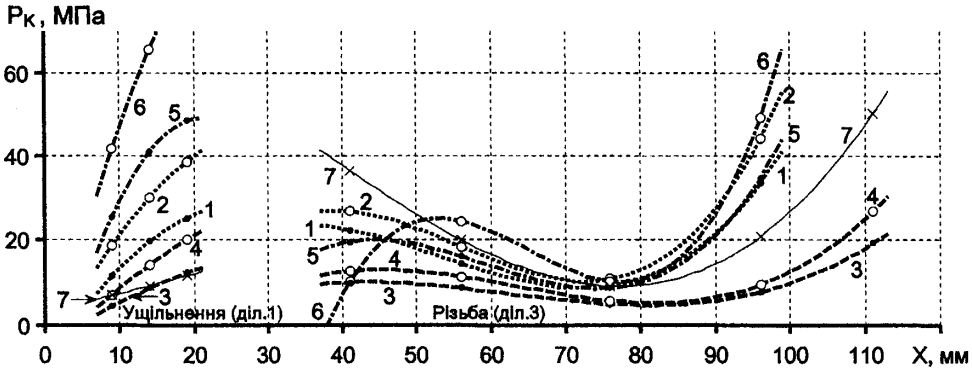


Рис. 3. Розподіли контактних тисків P_K в ущільненні (діл. 1) і різьбі (діл. 3) з'єднань ОТГ залежно від діаметрів D , товщин стінок S труб та натягів Δ_1 і Δ_3 :

1, 2, 5, 6 – $D=168$ мм; 3, 4, 7 – $D=245$ мм; 1, 3, 5 – $S=8,9$ мм; 2, 4, 6, 7 – $S=12$ мм; натяги (мм): в ущільненні: 1...4, 7 – $\Delta_1=0,1$; 5, 6 – $\Delta_1=0,2$; у різьбі: 1...6 – $\Delta_3=0,1$; 7 – $\Delta_3=0,2$.

звужується і зменшує тиск P_K на перших витках різьби (лінії 5-6). При цьому більший вплив має товстіша стінка канавки (лінії 2-6). Тонша стінка більш гнучка, звуження компенсує згином, тому створює менший вплив (лінії 1-5). Аналогічно більший натяг різьби Δ_3 зменшує тиск P_K в ущільненні (лінії 4-7). Таким чином встановлено, що зменшенням товщини стінки ділянки 2 канавки можна зменшити взаємний вплив відхилень натягів на герметичність ущільнення і міцність різьби.

Внутрішній тиск P_V зсередини розтискає трубу (рис. 1), тому контактні тиски P_K зростають як у різьбі, так і в ущільненні (рис. 4: пари ліній 1-2, 3-4, 5-6). До того ж тонша стінка труби розтискається більше, що збільшує приріст контактного тиску під дією внутрішнього (різниця між лініями 2-1 проти 4-3).

Герметичність ущільнення залежить від контактного тиску P_K , тому внаслідок його спадання визначається меншою величиною P_K біля торця труби. Менша товщина труби створює менший тиск P_K в ущільненні, тому з'єднання є герметичним при меншому внутрішньому тиску (лінії 2 проти 4). Через це герметичність

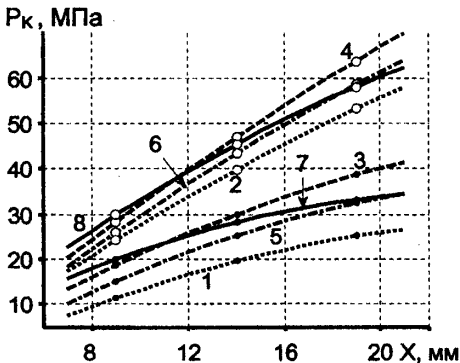


Рис. 4. Розподіл контактних тисків P_K в ущільненні з'єднань ОТГ залежно від внутрішнього тиску P_V та товщин труби (мм) в ущільненні t_1 і канавці t_2 :

1, 2 – ОТГ 168 x 8,9;
3...8 – ОТГ 168 x 12;
1, 3, 5, 7 – $P_V=0$; 2, 4, 6, 8 – $P_V=20$ МПа;
3, 4 – стандартні товщини $t_1=7,8$ і $t_2=8,1$;
зменшені товщини у межах допуску:
5, 6 – до $t_1=6,3$ і $t_2=6,6$; 7, 8 – лише $t_2=6,6$
(натяги $\Delta_1=\Delta_3=0,10$ мм).

з'єднань ОТТГ зменшується навіть від допустимого стандартом зменшення товщин стінок прокатаних труб у межах допуску $-12,5\%$ (лінії 6 проти 4).

Проте зменшення товщини стінки лише ділянки канавки 2 зменшує взаємний вплив вигинів стінок труби. Тому під дією внутрішнього тиску контактний P_K в ущільненні зростає біля торця і стає рівномірнішим (лінії 3-7, 4-8). Це дозволяє збільшити допустимий внутрішній тиск або зменшити натяг і тертя в ущільненні.

Зовнішній тиск P_Z стискає муфту (рис. 1), тому контактні тиски P_K у з'єднанні зростають. Але через гвинтові зазори у різьбі він проникає у канавку 2 і стискає стінку труби. Тому біля канавки контактний тиск P_K в ущільненні зменшується (рис. 5: лінії 1-3, 2-4). Стінка труби більшої жорсткості чинить більший опір зовнішньому тиску P_Z і забезпечує більшу герметичність (різниця між 1-3 проти 2-4).

Одночасне підвищення внутрішнього P_V і зовнішнього P_Z тисків створює таке ж зростання контактних тисків P_K (рис. 5: лінії 1-5, 2-6). Тому герметичність з'єднання визначається саме різницею надлишкових тисків. При цьому приріст контактного тиску в ущільненні ОТТГ навіть дещо більший за приріст діючих тисків.

Під дією осевого розтягу муфта і труба звужуються (тим більше, чим менша поперечна площа). Звуження муфти створює приріст контактного тиску P_K в ущільненні (рис. 5: лінії 1-7, 2-7). Оскільки трапецевидна різьба міцна, то осьове стискання з'єднання розширює муфту, зменшує тиск P_K і знижує герметичність.

У цілому менша товщина стінок труб створює менші контактні тиски у з'єднаннях ОТТГ під дією експлуатаційних навантажень, тому їх герметичність дещо нижча. Проте зменшення товщини стінки у канавці 2 у межах допуску знижує взаємний вплив деформацій ділянок з'єднання і створює приріст контактного тиску в ущільненні. Отже, розрахунком співвідношення відповідних товщин стінок і натягів у з'єднаннях ОТТГ за допомогою розробленої програмної моделі можна забезпечувати більший або більш рівномірний контактний тиск в ущільненні та герметичність з'єднань ОТТГ при заданих експлуатаційних навантаженнях.

У четвертому розділі описано удосконалене муфтове з'єднання обсадних труб підвищеної надійності, подано методику, обладнання і результати експериментальних досліджень його герметичності та розроблено методику проектування високонадійних з'єднань обсадних колон для заданих умов експлуатації.

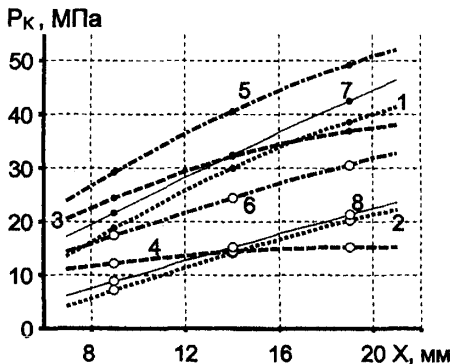


Рис. 5. Розподіл контактних тисків P_K в ущільненні залежно від зовнішнього тиску P_Z , одночасної дії тисків P_V і P_Z та осевої сили Q :

- 1, 3, 5, 7 – ОТТГ 168 x 12;
- 2, 4, 6, 8 – ОТТГ 245 x 12;
- 1, 2 – без навантаження ($P_V=0$, $P_Z=0$, $Q=0$);
- 3, 4 – зовнішній тиск $P_Z=10$ МПа;
- 5, 6 – одночасна дія тисків $P_V=P_Z=10$ МПа;
- 7, 8 – дія осевої сили $Q=500$ кН.

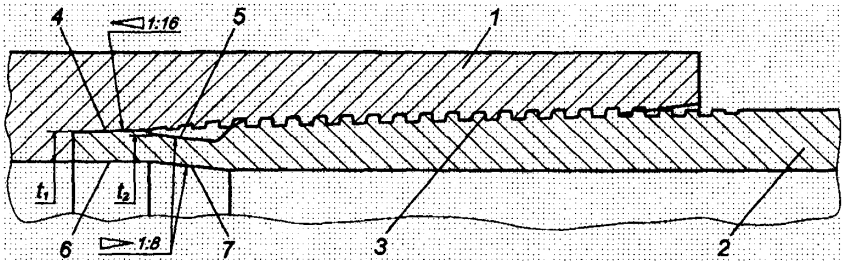


Рис. 6. Удосконалена конструкція муфтового з'єднання обсадних труб типу ОТТГ:

1 – муфта ОТТГ; 2 – обсадна труба; 3 – різьба; 4 – ущільнення; 5 – конусна канавка; 6 – проточка; 7 – перехідний конус.

Удосконалена конструкція муфтових з'єднань з вузлом ущільнення (рис. 6) захищена патентом [8]. Обсадна труба розточена під ущільненням до постійної товщини стінки і не залежить від коливання товщини прокатаних труб. Тонша і гнучка стінка канавки усуває взаємний вплив різних натягів в ущільненні й різьбі та дозволяє затягувати з'єднання до необхідної міцності різьби. Більш пружний вузол ущільнення зменшує тертя і крутний момент при згвинчуванні, але забезпечує більший контактний тиск і герметичність під дією внутрішнього тиску.

Надійна герметичність ущільнення досягається, якщо контактний тиск P_K перевищує величину P_T необхідного тиску герметизації, розраховану за формулою

$$P_K \geq P_T = k_1 (c + k_2 P) b^{-0,5}, \quad (14)$$

де P – робочий тиск середовища; b – ширина ущільнення; c, k_1, k_2 – параметри.

Розроблено методику підвищення надійності герметизації з'єднань ОТТГ. Для цього програмно будуємо графіки контактних тисків P_K в ущільненні (рис. 7) та необхідного тиску герметизації P_T (14) для заданого робочого тиску P . За ними визначаємо мінімально необхідний натяг Δ_{1T} , при якому виконується умова (14).

На основі аналізу можливих відхилень при виготовленні муфти і труби складено рівняння утворення мінімального натягу при згвинчуванні з'єднання

$$\Delta_{1\min} = 0,12 - \varepsilon_m + \varepsilon, \geq \Delta_{1T}. \quad (15)$$

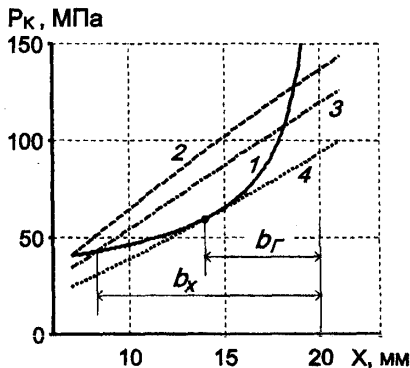


Рис. 7. Графічне визначення необхідних натягів Δ_1 в ущільненні з'єднань ОТТГ:

1 – графік необхідного тиску P_T герметизації для робочого тиску $P = 42,7$ МПа;

розподіли контактних тисків P_K при натягах:

2 – $\Delta_1 = 0,21$ мм;

3 – $\Delta_1 = 0,16$ мм;

4 – $\Delta_{1T} = 0,08$ мм;

b_T – ширина герметичного контакту;

b_x – ширина щільного контакту, де $P_K > P$;

(ОТТГ 168 x 12; натяг у різьбі $\Delta_3 = 0,25$ мм).

За умовою (15) встановлюють допустимі відхилення поверхонь ущільнення муфти ε_m і труби ε_t , які гарантують перевищення мінімального натягу над необхідним.

Для перевірки працездатності удосконалених з'єднань на промисловій установці У-700 трубної бази Долинського НГВУ проведено дослідні випробування з'єднань обсадних муфт і труб ОТГГ діаметром 146 і 168 мм та товщиною 9,5 і 10,6 мм. Була розроблена спеціальна методика їх експериментальних досліджень.

Зразки з'єднань заводського виготовлення були модифіковані. Для дослідження герметичності залежно від натягів в ущільненні їх зменшували тонким точінням ущільнюючого пояса, а від товщини стінки – розточували трубу (рис. 6).

Для встановлення рівня герметичності дослідні з'єднання опресовували водою під високим тиском, ступінчасто піднімаючи його до максимально допустимого, та контролювали настання ознак негерметичності і досягнутий тиск.

Щоб врахувати притирання контактних поверхонь, натяги муфти і труби вимірювали калібрами після опресування і розгвинчування. Далі, щоб отримати запланований натяг ущільнення при заданому натязі різьби, за вимірами розраховували натяги у можливих компоновках муфт і труб та проводили підбір їх пар.

Отримані експериментальні значення герметичних тисків опресування з'єднань підтвердили результати аналітичних досліджень. Збільшення натягу різьби на $\Delta_3=0,01$ мм зменшує тиск герметизації на 1,5...3,3 %. Збільшення діаметра з 146 до 168 мм зменшує тиск герметизації на 36 %. З'єднання ОТГГ з меншою товщиною стінки труби витримує дещо більший внутрішній тиск. Зменшення товщини труби в ущільненні (розточування) у межах допуску не знижує герметичність.

Найбільший вплив на герметичність з'єднань ОТГГ має натяг в ущільненні. Зміна натягу на $\Delta_1=0,01$ мм змінює тиск герметизації на 9...10 МПа. Тому занижений натяг ущільнення навіть у межах допуску призводить до втрати герметичності стандартних з'єднань ОТГГ. Проте створення гарантованого натягу $\Delta_1=0,08$ мм і вище забезпечує їх надійну герметизацію при стандартних тисках опресування.

За отриманими результатами уточнені параметри формули герметизації (11) і вироблені рекомендації з проектування високонадійних ущільнень з'єднань ОТГГ.

У п'ятому розділі розроблена ремонтпридатна конструкція муфтових з'єднань обсадних труб ОТГГ і спосіб відновлення їх герметичності та представлені результати його дослідної апробації, обґрунтовано технологічне забезпечення ремонту муфтових з'єднань обсадних труб у промислових умовах.

Ремонтпридатна конструкція муфтових з'єднань ОТГГ (рис. 8) захищена патентом [9]. На поверхні ущільнення труби чи муфти наносять герметизуючий шар м'якого металу. Товщину шару s вибирають так, щоб збільшити натяг і контактний тиск, який має перевищити напруження плинності матеріалу шару. Завдяки пластичним деформаціям він заповнює та ізолює впадини мікронерівностей на поверхнях ущільнення муфти і труби, чим відновлює герметичність з'єднання.

Виведено формулу для розрахунку необхідної товщини s герметизуючого шару

$$s = \frac{\sigma_{0,2}/E}{2 - \varepsilon/50} \cdot \left(d_{ym} \cdot \left(\frac{D_M^2 + d_{ym}^2}{D_M^2 - d_{ym}^2} + \mu \right) + \frac{(d_2 + d)^2}{4 \cdot (d_2 - d)} \right), \quad (16)$$

де $\sigma_{0,2}$ – межа плинності матеріалу шару; ε – відносна усадка шару під тиском;

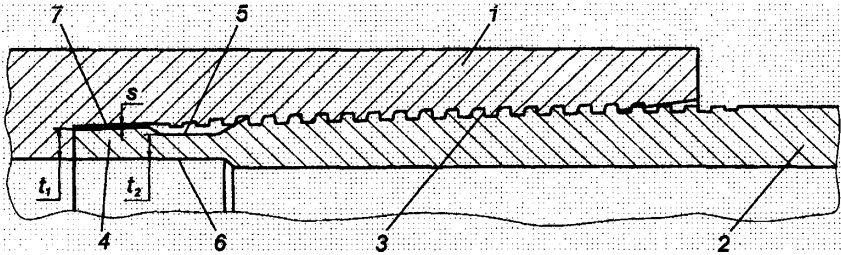


Рис. 8. Конструкція ремонтпридатного муфтового з'єднання обсадних труб з вузлом ущільнення типу ОТТГ:

1 – муфта ОТТГ; 2 – труба; 3 – різьба; 4 – стінка ущільнення; 5 – технологічна канавка; 6 – проточка; 7 – шар герметизуючого матеріалу товщиною s .

D_M , d , d_2 , d_m – діаметри муфти, труби і ущільнення, задані стандартом.

Обґрунтовано, що для надійного відновлення герметичності ущільнень ОТТГ найбільш придатні пластичні, антифрикційні та антикорозійні властивості цинку.

Виходячи з габаритів обсадних труб і муфт, одиничного характеру ремонту, універсальності, мобільності, малої трудомісткості налагодження, технологічності та економічності, для створення герметизуючого шару в ущільненнях ОТТГ обґрунтоване застосування способу газопламеневого порошкового напилення металів. Вміст у порошку до 15% алюмінію усуває злипання розжарених часток цинку.

Дослідна апробація запропонованого способу здійснена на відповідній установці УГПН-005 у лабораторії захисних покриттів Інституту електрозварювання імені Є. Патона НАНУ. Для цього розроблено технологічний процес відновлення герметичності (рис. 9), у тому числі режими підготовки та обробки поверхонь ущільнення, режими напилення герметизуючого шару.

Герметизуючий шар цинку з часткою алюмінію товщиною 0,15 мм напилили

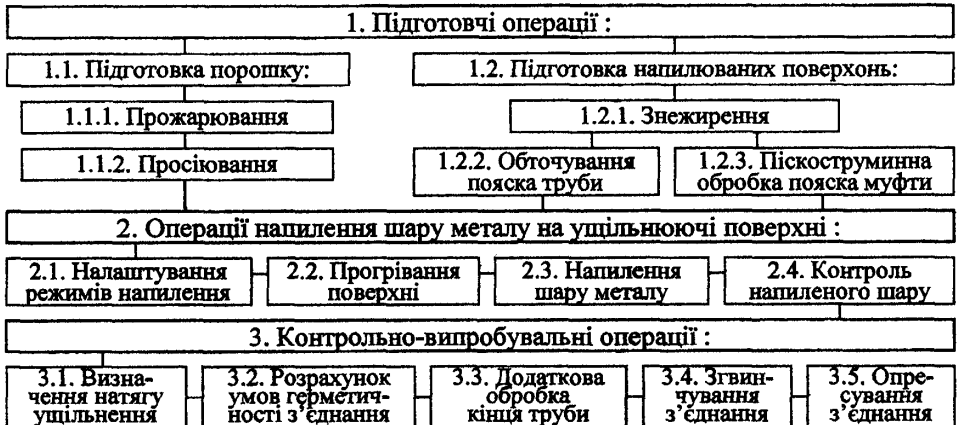


Рис. 9. Структурна схема технологічного процесу відновлення герметичності ущільнень муфтових з'єднань обсадних труб ОТТГ.

на ущільнення муфт ОТТГ 146. Вони були згвинчені з трубами ОТТГ 146 x 9,5 Е та 146 x 10,7 Е (з потоншеними стінками вузла ущільнення). У попередніх дослідженнях їх з'єднання були герметичними лише при тисках, нижчих за стандартні.

Відновлені з'єднання знову опресували на установці У-700. Вони стали герметичними при стандартних випробувальних тисках відповідно 57,9 і 62,8 МПа. На підставі цього актами визнано, що вони придатні згідно з ГОСТ 632-80 та можуть бути застосовані в експлуатаційній колоні при кріпленні свердловин.

За результатами апробації розроблена методика підвищення надійності ремонту з'єднань ОТТГ. За програмною моделлю визначають натяги в ущільненні з напиленим шаром і будують графіки контактного тиску (рис. 10). Його величина P_K повинна перевищити напруження плинності шару металу, але не спричинити його зривання при згвинчуванні чи видавлювання при опресуванні згідно з умовами $P_K > \sigma_{0,2} = 65$ МПа; $P_K < \tau_{сп} / f_T = 10 / 0,08 = 125$ МПа; $P_K < \sigma_c = 127$ МПа, (17) де $\sigma_{0,2}$ – границя плинності матеріалу герметизуючого шару; $\tau_{сп}$ – міцність зчеплення напиленого шару на зріз; f_T – коефіцієнт тертя цинкового покриття по сталі; σ_c – межа міцності напиленого шару при стисканні.

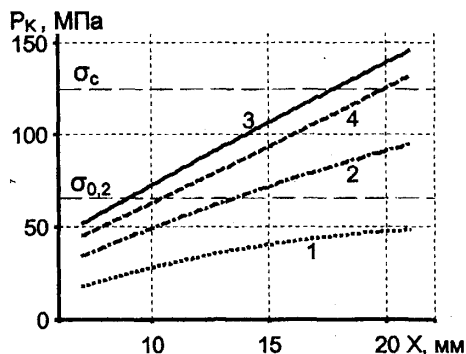


Рис. 10. Розподіли контактних тисків P_K в ущільненні з'єднання ОТТГ з напиленим герметизуючим шаром:

- 1 – при згвинчуванні без внутрішнього тиску (ОТТГ 146 x 10,7Е; ущільнення розточене до товщини $t_1 = 5,2$ мм; натяги $\Delta_1 = 0,13$ мм і $\Delta_3 = 0,10$ мм);
- 2 – під дією робочого тиску $P_V = 30$ МПа;
- 3 – при опресуванні стандартним тиском $P_T = 62,8$ МПа;
- 4 – при опресуванні зі зменшенням натягом в ущільненні $\Delta_1 = 0,09$ мм.

При необхідності зменшити натяг Δ_1 у відновленому ущільненні запропоновано обкатування напиленого шару металу накатником з циліндричним роликком.

На основі створеної методики проектування і технологічного забезпечення удосконалених з'єднань типу ОТТГ розроблена інструкція з підвищення надійності з'єднань обсадних колон нафтових і газових свердловин. Вона прийнята для впровадження на бурових підприємствах ВАТ "Укрнафта".

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вирішено важливу науково-технічну задачу підвищення герметичності і ремонтно-придатності різьбових з'єднань обсадних труб шляхом удосконалення вузлів ущільнення з врахуванням експлуатаційних навантажень, що забезпечує надійність кріплення та безпеку експлуатації нафтових і газових свердловин.

При цьому отримані такі основні результати:

1. Аналіз надійності кріплення нафтових і газових свердловин показав, що

одною з основних причин втрати працездатності обсадних колон є порушення герметичності їх різьбових з'єднань. Цю проблему можна вирішити на основі застосування різьбових з'єднань типу ОТТГ з вузлами ущільнень. Але відхилення розмірів при виготовленні муфт і труб ОТТГ, які допускає існуючий стандарт, можуть поєднуватись у широких межах, що значно знижує герметичність з'єднань. У зв'язку з цим обґрунтовано необхідність їх удосконалення у напрямку підвищення надійності і герметичності та розроблення відповідних методів розрахунку і проектування параметрів їх працездатності.

2. Програмна аналітична модель складного пружно-деформованого стану з'єднань муфт і труб типу ОТТГ, розроблена на основі моментної теорії коротких циліндрів зі стінками змінної товщини у поєднанні з формулами Ламе, дає змогу врахувати закономірності утворення контактних тисків на ділянках ущільнення і різьби та сумісність кільцевих, радіальних і згинальних деформацій, які виникають у їх стінках при згинчуванні з радіальним натягом, під дією контактних і експлуатаційних тисків та осьових навантажень.

3. Закономірності впливу конструктивних і експлуатаційних чинників на герметичність різьбових з'єднань обсадних труб ОТТГ, отримані за допомогою розробленої моделі, показали, що контактні тиски в ущільненні і різьбі значною мірою залежать від натягів, товщин і жорсткості стінок, діаметрів труб, внутрішніх і зовнішніх тисків, осьових навантажень та від поєднання і зміни цих чинників. Встановлено, що в ущільненні контактний тиск спадає до упорного торця, що має визначальний вплив на герметичність з'єднань ОТТГ.

4. Удосконалені конструкції різьбових з'єднань обсадних труб типу ОТТГ підвищеної надійності і ремонтпридатності та спосіб відновлення герметичності стандартних з'єднань ОТТГ, а також розроблені методики проектування і технологічного забезпечення їх конструктивних параметрів забезпечують підвищення працездатності цих з'єднань в умовах експлуатаційних навантажень, які діють на обсадну колону у свердловині.

5. Дослідні випробування удосконалених з'єднань типу ОТТГ, проведені на промисловому обладнанні, підтвердили їх працездатність і придатність для використання у експлуатаційних колонах. При цьому значення параметрів герметизації, отримані в ході експериментальних досліджень впливу натягів в ущільненні і різьбі, товщини і діаметра труб на герметичність удосконалених з'єднань, узгоджуються із розрахованими за програмною моделлю. Для з'єднань ОТТГ 146 збільшення радіального натягу ущільнення на 0,01 мм підвищує їх герметичність на 9...10 МПа, а натяг, більший за 0,08 мм, забезпечує їх герметичність при максимальних тисках опресування за стандартом.

6. Дослідна апробація розробленого технологічного способу відновлення та підвищення герметичності з'єднань ОТТГ, здійснена на основі газопломеневого порошкового напилення цинкового герметизуючого шару на поверхні ущільнення, підтвердила зростання герметичності відновлених з'єднань до максимальних тисків опресування, встановлених стандартом (до 57,9 МПа для ОТТГ 146 x 9,5 E і до 62,8 МПа для ОТТГ 146 x 10,6 E) та ефективність застосування цього способу у промислових умовах.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Палійчук І. І. Пружно-деформований стан тонкостінного герметизуючого елемента різьбових з'єднань обсадних труб / І. І. Палійчук, Т. М. Кулинин // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2002. – № 3 (4) – С. 73-78.
2. Кулинин Т. М. Крайові вигини стінок муфт і труб, з'єднаних з натягом / Т. М. Кулинин, І. І. Палійчук // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2004. – № 2 (11) – С. 32-38.
3. Палійчук І. І. Визначення контактних тисків у з'єднаннях муфт і труб з натягом / І. І. Палійчук // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2004. – № 3 (12) – С. 46-51.
4. Палійчук І. І. Пружна взаємодія з'єднаних з натягом циліндрів зі змінною товщиною стінки / І. І. Палійчук // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. – № 2 (19) – С. 59-63.
5. Крижанівський Є. І. Удосконалення ущільнюючого вузла високогерметичних муфтових з'єднань обсадних труб / Є. І. Крижанівський, І. І. Палійчук // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – № 1 (26) – С. 78-82.
6. Крижанівський Є. І. Метод розрахунку контактного тиску для муфти і труби, з'єднаних з натягом / Є. І. Крижанівський, І. І. Палійчук // Нафтогазова енергетика. – 2008. – № 1 (6) – С. 78-82.
7. Крижанівський Є. І. Фізико-математичні основи розрахунку взаємодії муфт і труб у з'єднаннях нафтогазового сортаменту / Є. І. Крижанівський, І. І. Палійчук // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2008. – № 2 (18) – С. 56-59.
8. Патент 76804 Україна, МПК Е 21 В 17/02, F 16 L 15/00. З'єднання теплоподавальних труб / Є. І. Крижанівський, І. І. Палійчук – № 20040605002; заявл. 24.06.2004; опубл. 15.09.2006. Бюл. № 9.
9. Патент 39865 Україна, МПК Е 21 В 17/02, F 16 L 15/00. Різьбове з'єднання труб / Є. І. Крижанівський, І. І. Палійчук, П. В. Щеглок, С. П. Рокецький – № 200813266; заявл. 17.11.2008; опубл. 10.03.2009. Бюл. № 5.
10. Kryzhanivsky Y. I. Contact pressures and wall strains in tight tapered connection of pipe and coupling with seal box / Y. I. Kryzhanivsky, I. I. Paliychuk // International Symposium "Mineral Resources and Environment Engineering" (Romania, Baia Mare, October 2008) / North University of Baia Mare. – Romania, Baia Mare: Editura Universitatii de Nord, 2008. – P. 46.
11. Палійчук І. І. Підвищення надійності та ремонтпридатності муфтових з'єднань обсадних труб з вузлом ущільнення / І. І. Палійчук // Анотації Міжнародної науково-технічної конференції "Нафтогазова енергетика: проблеми і перспективи" (Івано-Франківськ, 20-23 жовтня 2009 р.) / Мін-во освіти і науки України, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ: Факел, 2009. – С. 75.
12. Інструкція з підвищення надійності з'єднань обсадних колон нафтогазових свердловин: Керівний документ ВАТ "Укрнафта" // Є. І. Крижанівський, Б. О. Чернов, І. І. Палійчук. – Івано-Франківськ: Вид-во ІФНТУНГ, 2010. – 36 с.

АНОТАЦІЯ

Палійчук І. І. Підвищення герметичності різьбових з'єднань обсадних труб нафтових і газових свердловин. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.06 – Розробка нафтових та газових родовищ. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2010.

Дисертація присвячена підвищенню герметичності та ремонтпридатності різьбових з'єднань обсадних труб шляхом удосконалення конструкції і програмування параметрів їх працездатності з урахуванням експлуатаційних навантажень.

Програмна модель пружно-деформованого стану з'єднання муфти і труби з вузлом ущільнення розроблена на основі моментної теорії коротких циліндрів зі стінками змінної товщини, формул Ламе і знайденої формули контактного тиску.

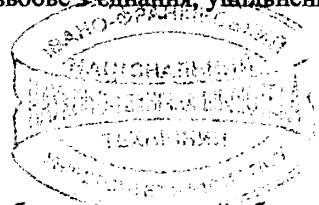
Аналітичні дослідження контактних тисків залежно від радіальних натягів, товщин стінок, внутрішніх і зовнішніх тисків, осьових сил дали змогу встановити нові закономірності впливу конструктивних та експлуатаційних чинників на герметичність і надійність різьбових з'єднань обсадних труб ОТГГ.

Удосконалені конструкції різьбових з'єднань із вузлом ущільнення і спосіб підвищення їх герметичності захищені патентами України. Розроблені методики їх проектування і технологічного забезпечення. Дослідні випробування цих з'єднань підтвердили підвищення їх працездатності в обсадних колонах.

Спосіб відновлення герметичності з'єднань ОТГГ розроблений на основі газопломеневого металопорошкового напильнення герметизуючого шару.

Ключові слова: герметичність, обсадна труба, різьбове з'єднання, ущільнення, контактний тиск, деформація стінки.

АНОТАЦІЯ



Палійчук И. И. Повышение герметичности резьбовых соединений обсадных труб нефтяных и газовых скважин. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.06 – Разработка нефтяных и газовых месторождений. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. – Ивано-Франковск, 2010.

Диссертация посвящена повышению герметичности и надежности муфтовых соединений обсадных колонн путем усовершенствования конструкции и программирования параметров работоспособности с учетом эксплуатационных нагрузок.

В первом разделе проведен анализ причин осложнений с обсадными колоннами, способов повышения надежности их резьбовых соединений и методов расчета упругих деформаций их элементов, обоснованы цель и задачи диссертации.

Второй раздел посвящен теоретическим исследованиям формирования герметизирующей способности муфтовых соединений обсадных труб ОТГГ и

разработке их упруго-деформационной модели с учетом натягов и эксплуатационных нагрузок. Программная аналитическая модель сложного напряженно-деформированного состояния соединений труб и муфт с уплотнительным узлом разработана на основе моментной теории коротких цилиндров со стенками переменной толщины с применением формул Ламе. Модель учитывает совместимость кольцевых, радиальных и изгибающих деформаций, которые возникают в их стенках при свинчивании с радиальным натягом, под действием контактных, внутренних и внешних давлений, осевых сил, и закономерности формирования контактных давлений на участках уплотнения и резьбы.

В третьем разделе проведены аналитические исследования влияния конструктивных и эксплуатационных факторов на герметичность муфтовых соединений обсадных труб ОТГГ и зависимости контактных давлений в уплотнении и резьбе от радиальных натягов, толщин стенок, внутренних и внешних давлений, осевых нагрузок. Контактное давление больше при больших натягах, толщинах стенок и меньших диаметрах труб. Вследствие изгибов стенок трубы возникает спад контактного давления к торцу уплотнения, что определяет его герметичность. Величина и спад этого давления возрастают под действием внутреннего давления. Уменьшив в пределах допуска толщину стенок в узле уплотнения, увеличив их гибкость, можно уменьшить этот спад и взаимное влияние различных натягов в уплотнении и резьбе. Программный расчет толщин стенок и натягов обеспечивает большее и более равномерное контактное давление в уплотнении и повышению герметичности соединений ОТГГ при заданных эксплуатационных условиях.

В четвертом разделе описаны усовершенствованные муфтовые соединения обсадных труб типа ОТГГ повышенной надежности, представлена методика, оборудование и результаты экспериментальных исследований их герметичности, а также разработаны методики проектирования и технологического обеспечения этих соединений для заданных условий эксплуатации.

Опытные испытания усовершенствованных соединений подтвердили закономерности повышения их герметичности в зависимости от натягов в уплотнении и резьбе, толщин и диаметров труб, возможность уменьшения толщины стенки в уплотнении при необходимости увеличения натяга. Испытания позволили установить параметры надежной герметизации таких соединений и их пригодность для использования в эксплуатационных колоннах. Экспериментально установлено, что для соединений ОТГГ 146 увеличение радиального натяга на 0,01 мм повышает их герметичность на 9...10 МПа, а натяг, больший 0,08 мм, обеспечивает их герметичность при максимальных давлениях опрессовки согласно стандарта.

В пятом разделе разработаны ремонтпригодная конструкция муфтовых соединений обсадных труб ОТГГ и способ восстановления их герметичности, представлены результаты их внедрения, обосновано технологическое обеспечение ремонта соединений в производственных условиях. Опытная апробация этого способа проведена на установке газопламенного металлопорошкового напыления путем напыления герметизирующего слоя на уплотнительные поверхности соединения ОТГГ. Апробация подтвердила возрастание герметичности восстановленных соединений при максимальных опрессовочных давлениях по стандарту

(до 57,9 МПа для ОТТГ 146 x 9,5 Е і до 62,8 МПа для ОТТГ 146 x 10,6 Е) и эффективность его применения в промышленных условиях.

На основе разработанной методики проектирования и технологического обеспечения усовершенствованных соединений типа ОТТГ разработан руководящий документ для повышения надежности соединений обсадных колонн нефтяных и газовых скважин. Он принят для внедрения на буровых предприятиях ВАТ "Укрнефть".

Ключевые слова: герметичность, обсадная труба, резьбовое соединение, уплотнение, контактное давление, деформация стенки.

ABSTRACT

Paliychuk I. I. Enhancement of Tightness of Threaded Joints of Casing Pipes of Oil and Gas Wells. – Manuscript.

The Dissertation for a Candidate Degree in Technical Sciences. Specialty 05.15.06 – Development of Oil and Gas Fields. Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. – Ivano-Frankivsk, 2010.

The dissertation deals with the enhancement of impermeability of threaded joints of casing pipes by means of construction improvement of seal assembly and programming of their working capacity parameters taking into account operational loadings.

The computer-generated model of the elastic-deformed state of pipe and coupling joint with seal assembly is designed on the basis of the moment theory of short cylinders with variable thickness of their walls, Lamé's formulas and the formula of contact pressure found by the author.

Analytical studies of contact pressures dependence from radial tension, thicknesses of walls, internal and external pressures, thrust load have allowed to determine new influencing patterns of constructional and operational factors on leakproofness of threaded joints of casing pipes with seal assembly.

Advanced constructions of casing pipes joints with seal assembly and the increase technique of their impermeability are patented. The author has elaborated their design technique and procedures of their technological support. Experimental trials of these joints have confirmed the increase of their working capacity in casing strings.

The restoration technique of impermeability of joints with seal assembly is designed on the basis of gas-flame powder spraying of pressurizing metallic layer.

Keywords: tightness, casing pipe, threaded socket joint, seal assembly, contact pressure, wall deformation.