

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
Івано-Франківський державний технічний університет  
нафти і газу

На правах рукопису

СЕНЮШКОВИЧ МИКОЛА ВОЛОДИМИРОВИЧ

ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РІЗЬБОВИХ З'БІДНАНЬ ОБСАДНИХ  
КОЛОН ДЛЯ КРІПЛЕННЯ ПОХИЛО-НАПРАВЛЕНИХ СВЕРДЛОВИН

Спеціальність 05.15.10 - Буріння свердловин

АВТОРЕЗЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ-1995



AB 32.855

Дисертація є рукописом.

Робота виконана в Івано-Франківському державному  
технічному університеті нафти і газу

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК: доктор технічних наук, професор,  
академік УНГА  
КОЦКУЛИЧ Ярослав Степанович


ОФІЦІЙНІ ОПОНЕНТИ: доктор технічних наук, професор,  
академік УНГА  
МОЧЕРНИК Дмитро Юрійович

кандидат технічних наук, доцент  
ЧЕРНОВ Борис Олександрович

ПРОВІДНА ОРГАНІЗАЦІЯ: ДПІ "УКРЗАХІДГЕОЛОГІЯ"  
м. Львів

Захист відбудеться "21" вересня 1996 р. о. 16<sup>30</sup>  
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.09.02.05  
Івано-Франківського державного технічного університету  
нафти і газу за адресою: 284018, Україна,  
м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.  
З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній  
бібліотеці.

Автореферат розісланий "18" серпня 1996 р.

Вчений секретар  БЕКЕРИК В. І.  
спеціалізованої вченої ради

ЛННБ ім. В. Стефаника  
АН України

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ.** Проблема забезпечення економіки України вуглеводневою сировиною може бути вирішена не тільки нарощуванням обсягів бурових робіт, але й за рахунок підвищення коефіцієнта нафтогазовилучення з надр. Цього можна досягти шляхом буріння похило-направлених та горизонтально-розгалужених свердловин.

Однак при бурінні та експлуатації таких свердловин виникає ряд труднощів, найпоширенішими з яких, за даними промислових матеріалів, є розлад та негерметичність різьбових з'єднань обсадних труб. Вказане зумовлене тим, що в викривлених обсадних колонах додатково виникають згинаючі моменти. На усунення зазначених ускладнень витрачається біля 10-12% загального аварійного часу, причому витрати коштів на ці роботи постійно зростають, оскільки збільшуватся як обсяги буріння похило-направлених свердловин, так і їх глибини.

Результати вивчення впливу згинаючих моментів на міцність різьбових з'єднань, одержані різними дослідниками неоднозначні, що відобразило на інструкціях та рекомендаціях з розрахунку обсадних колон. Рекомендації з вибору величини крутного моменту згвинчування обсадних труб типу ОТТМ та ОТТГ суттєво різняться між собою, і не враховують подальших умов роботи труб в свердловинах.

Викладене дає підстави вважати, що проблема підвищення працездатності різьбових з'єднань обсадних труб актуальна, і для її розв'язання виникає потреба в проведенні комплексних досліджень.

**МЕТА РОБОТИ.** Вдосконалення методів кріплення похило-

направлених свердловин за рахунок підвищення працездатності різьбових з'єднань обсадних колон.

ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ. 1. Вивчення факторів, які порушують нормальні умови роботи труб в похило-направлених свердловинах та оцінка існуючих методів і засобів підвищення працездатності обсадних колон.

2. Дослідження впливу величини крутного момента згинчування на напружений стан різьбових з'єднань та вироблення методики визначення його величини з умови вибору пружного натягу.

3. Дослідження напруженого стану та характеру розподілу напружень в різьбовому з'єднанні обсадних труб при дії згинаючих моментів.

4. Уточнення методики розрахунку обсадних труб на міцність для кріплення похило-направлених свердловин.

5. Розробка технічних засобів для підвищення надійності роботи обсадних колон в похило-направлених свердловинах.

6. Промислова перевірка ефективності результатів досліджень.

НАУКОВА НОВИЗНА. 1. На підставі результатів аналітичних досліджень оцінено вплив величини крутного момента згинчування на напружений стан різьбових з'єднань обсадних труб з трапецієвидним профілем різьби.

2. Визначені величини крутних моментів згинчування обсадних труб з умови вибору пружного натягу, та їх максимально допустимі значення.

3. Одержані аналітич. і вирази для визначення величин напружень при згині обсадної колони, які дозволяють встановити характер зміни поздовжніх та кільцевих нормальних напружень як по периметру поперечного перерізу труби, так і по

товщині стінки.

4. Експериментально досліджено характер розподілу напружень в різьбовому з'єднанні при дії згинаючого момента та визначено переріз, в якому вони досягають максимальних значень.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ. I. На підставі проведених досліджень вироблена методика розрахунку величини крутних моментів згвинчування обсадних труб ОТМ та ОТГ. Для виміру крутного момента згвинчування обсадних труб сконструйований моментомір та виготовлені його дослідні зразки.

2. Уточнена методика розрахунку на міцність обсадних труб типу ОТМ та ОТГ з врахуванням дії згинаючих моментів.

3. Розроблено конструкції з'єднання обсадних труб, центратора та пристрою для попередження поздовжнього згину труб, при посекційному кріпленні вертикальних свердловин.

РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ. Результати дисертаційної роботи реалізовані при кріпленні свердловин в Долинському УБР (АТ "Укрнафта"), Чорноморському УРБ, ВГО "Ямалнафтогазгеологія", ВО "Сахалінморнафтогаз" шляхом використання розроблених рекомендацій та пристроїв вимірювання крутного момента. Економічний ефект від впровадження розробок склав біля 167 тис. руб. (в цінах до 1991 року).

АПРОВАЦІЯ РОБОТИ. Основні матеріали дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на:

- крайовій науково-технічній конференції молодих вчених і спеціалістів (м. Ставрополь, 1987 р.);
- II Всесоюзній науково-технічній конференції "Вскрытие нефтегазовых пластов и освоение скважин" (м. Івано-Франківськ, 1988 р.);
- науково-практичній конференції "Проблеми научно-техничес-

кого прогресса в строительстве глубоких скважин в Западной Сибири" (м. Тюмень, 1990 р.);

- міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми і шляхи енергозабезпечення України" (м. Івано-Франківськ, 1993 р.);

- науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу (м. Івано-Франківськ, 1994, 1995 р.р.);

- науково-практичній конференції "Стан, проблеми і перспективи розвитку нафтогазового комплексу Західного регіону України" (м. Львів, 1996 р.).

ПУБЛІКАЦІЇ по темі дисертації: основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 15 наукових працях, в т.ч. 4 статті, 5 авторських свідоцтв, 1 патент, 5 тез доповідей.

СТРУКТУРА І ОБСЯГ РОБОТИ. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, основних висновків та рекомендацій. Матеріал викладено на 149 сторінках машинописного тексту; робота містить 27 рисунків, 22 таблиці, 123 назви бібліографічних джерел і 1 додаток.

#### ЗМІСТ РОБОТИ

У ВСТУПІ обгрунтована актуальність досліджуваної проблеми, сформульовано мету і основні завдання досліджень.

В ПЕРШОМУ РОЗДІЛІ проведений аналіз факторів, які впливають на працездатність різьбових з'єднань обсадних труб та зроблено критичний огляд сучасних методів розв'язання вказаної проблеми.

Надійня робота обсадних колон у вивірених свердловинах в основному визначається міцністю і довготривалістю різьбових з'єднань. Із загальної кількості аварій з обсадними колонами за даними більшості досліджень та аналізом промисло-

вого матеріалу, біля 70% припадає на різьбові з'єднання.

Основними причинами аварій та ускладнень з обсадними колонами є:

- неякісна підготовка різьбових з'єднань обсадних труб до спуску в свердловину та їх згвичування без контролю величини крутного моменту;

- нехтування додатковими навантаженнями на різьбові з'єднання внаслідок згину колони;

- використання для герметизації різьбових з'єднань не-ефективних засобів.

За теперішнього часу рекомендовані різними авторами величини крутного моменту суттєво відрізняються між собою, що не дає впевненості в їх вірогідності, відсутні також надійні пристрої для його контролю.

Серед особливостей кріплення похило-направлених свердловин є те, що при проектуванні обсадних колон треба враховувати вплив згинаючих моментів на міцність їх різьбових з'єднань. За діючими нормативними документами розрахунок на міцність обсадних труб ОТМ та ОТТ при інтенсивності викривлення до 5 градусів на 10 м проводиться без врахування впливу згинаючих моментів.

При більшій інтенсивності викривлення, рекомендується зменшувати границю міцності на 10%. Таким чином існуюча методика розрахунку обґрунтована недостатньо, що підтверджується аналізом промислових даних з аварійності обсадних колон в похило-направлених свердловинах.

На підставі викладеного, можна зробити висновок про необхідність проведення теоретичних та експериментальних досліджень, результати яких повинні враховуватись при проектуванні обсадних колон для кріплення похило-направлених сверд-

ловин.

В ДРУГОМУ РОЗДІЛІ приводяться результати досліджень впливу осевого натягу і крутного момента згвинчування на міцність різьбових з'єднань обсадних труб. Дослідженню цього питання присвячені роботи Агеева Н.М., Білика С.Ф., Булатова А.І., Гусейнова С.Б., Дашдемірова Г.Д., Брьоменка Т.Б., Комнатного Ю.Д., Конрада Р.Ф., Коцкулича Я.С., Лачиняна А.А., Мавлютова М.Р., Мочерника Д.Ю., Марлоу Р.С., Мессона Р.П., Ножельского А.А., Нурієва А.І., Павельчака А.В., Пчолкіна В.Н., Тіщенко О.В., Федоренка З.І., Чернова Б.О., Шербіка А.Д., Якубовського Н.В., та інших. Однак в більшості робіт досліджуються обсадні труби з трикутним профілем різьби.

На сьогоднішній день величина крутного момента вважається одним з основних критеріїв контролю згвинчування обсадних труб, а в зарубіжній практиці такий контроль є обов'язковим. Однак рекомендації різних авторів нерідко суперечливі. Одні вважають, що величина крутного момента залежать від групи міцності сталі та товщини стінки труби, інші - тільки від товщини стінки, окремі приводять середні значення крутних моментів для певного діаметра труб. Зустрічаються також дані про величини крутного момента в залежності від площі контакту витків трапецієвидної різьби, що приводить до їх нереальності в практичному застосуванні. Неоднаковий підхід різних авторів і до встановлення границь зміни величин крутних моментів.

Відомо, що міцність різьбового з'єднання при згвинчуванні визначається величиною кільцевих та радіальних напружень. Зазначені напруження залежать від контактного тиску на згвинчуваних поверхнях, який є функцією діаметрального пруж-

ного натягу, діаметрів та товщин стінок труби і муфти.

На величину натягу безпосередній вплив має точність виготовлення різьби. Тому відсутність контролю величини крутного момента може привести як до перенапруження і втрати міцності різьбового з'єднання, так і до згинчування із занадтнім моментом, внаслідок чого не буде досягнуто герметичності і міцності з'єднання.

Для визначення величин крутного момента згинчування обсадних труб одержані залежності, які мають такий вигляд:

а) для труб ОТТМ

$$M_{кр} = \frac{\pi f A t g(\varphi) (1-\sigma) E \delta_T \delta_M R_c l_p}{(R_M^2 \delta_T + R_T^2 \delta_M) t} \left[ \left( \frac{d_A^2 - d_B^2}{4 \cos(\alpha_A)} \right) + b(d_A + d_B) \right] ; \quad (1)$$

б) для труб ОТТГ

$$M_{кр} = \frac{1,15 \pi f A t g(\varphi) (1-\sigma) E \delta_T \delta_M R_c}{(R_M^2 \delta_T + R_T^2 \delta_M)} \left\{ \frac{l_p - 0,029}{t} \left[ \left( \frac{d_A^2 - d_B^2}{4 \cos(\alpha_A)} \right) + b(d_A + d_B) \right] + \frac{d_M^2 - d_{ум}^2}{4} + d_A l_{ум} \right\} ; \quad (2)$$

де  $\varphi$  - кут нахилу різьби ;

$\sigma$  - коефіцієнт припасовування різьби;

$E$  - модуль Юнга ;

$R_M, R_T$  - відповідно радіуси серединних поверхонь муфти та труби в основній площині різьби ;

$\delta_M, \delta_T$  - відповідно товщини стінки муфти та труби в основній площині різьби.

$f$  - коефіцієнт тертя ;

$A$  - рекомендована величина осевого натягу;

$R_c$  - середній радіус різьби в основній площині;

$t$  - крок різьби;

- $l_p$  - відстань від торця труби до основної площини;  
 $d_1$  - діаметр вершини витків різьби труби в основній площині;  
 $d_b$  - внутрішній діаметр різьби в основній площині;  
 $d_{ум}$  - діаметр ущільнючої конічної розточки муфти;  
 $d_m$  - діаметр упорного виступа муфти;  
 $d_2$  - діаметр ущільнючого конічного паска труби;  
 $l_{ум}$  - довжина ущільнючого конічного паска труби;  
 $\alpha_1$  - кут нахилу опорної поверхні витків різьби;  
 $b$  - ширина вершини витка різьби.

При згвинчуванні різьбових з'єднань обсадних труб з пружним натягом між поверхнями, що знаходяться у контакті, виникають дотичні напруження від контактної тертя. Із збільшенням величини крутного моменту напруження на бокових гранях витків зростають і настає момент, коли в їх зовнішніх шарах появляются пластичні деформації. Для попередження руйнування витків величина крутного моменту повинна обмежуватись критичне значення якого можна знайти з виразу:

$$M_{кр} = 1,16 \pi R_c^2 k_1 l_p k_m k_n (1 - \exp(-1,25 \frac{\nu \sigma_c}{[\sigma]})) [\sigma], \quad (3)$$

де  $k_1$  - коефіцієнт досконалості різьби;

$k_m$  - коефіцієнт, який враховує характер зміни деформації витків уздовж різьби при появі в ній пластичних деформацій і особливості руйнування різьбового з'єднання;

$\nu$  - коефіцієнт Пуассона;

$\sigma_c$  - кільцеві напруження в різьбовому з'єднанні;

$[\sigma]$  - допустимі напруження для матеріалу труби.

Складність вирішення поставлених задач вимагала прове-

дення експериментальної перевірки результатів теоретичних досліджень, тому були використані натурні зразки обсадних труб заводського виготовлення діаметром 146, 168, та 219 мм (ГОСТ 632-80).

На рис. 1 приведені експериментальні залежності величини крутного моменту згвинчування обсадних труб ОТТМ та ОТТГ від осового натягу. Вказані залежності мають дві чітко виражені ділянки:

а) нелінійна в початковій фазі згвинчування, де величини крутного моменту знаходяться в межах 1200-1500 Нм;

б) лінійна до закінчення процесу згвинчування.

Нелінійна ділянка характеризується інтенсивним зменшенням величини осового натягу при незначному зростанні крутного моменту, що є підтвердженням процесу припасовування поверхонь в цій фазі згвинчування. При цьому вибирається біля половини осового натягу, тому рекомендоване значення коефіцієнта припасовування ( $C=0,5$ ) є правомірним.

Для обсадних труб ОТТГ вказані залежності мають ще одну характерну ділянку в кінці процесу згвинчування. Це пряма, яка відповідає моменту спряження елементів ущільнючого вузла. Дослідженнями встановлено, що для надійного спряження вузла герметичності крутний момент повинен на 10-15% перевищувати його величину визначену з умови вибору пружного натягу. Це враховано в рекомендаціях для визначення величини крутного моменту згвинчування труб ОТТГ (формула 2).

Проведеними нами дослідженнями встановлено, що при збільшенні діаметра труби має місце зменшення контактного тиску, а при збільшенні товщини стінки - навпаки. Внаслідок зменшення контактного тиску зменшуються кільцеві та радіальні напруження в тілі труби і муфти. З цієї точки зору різьбові

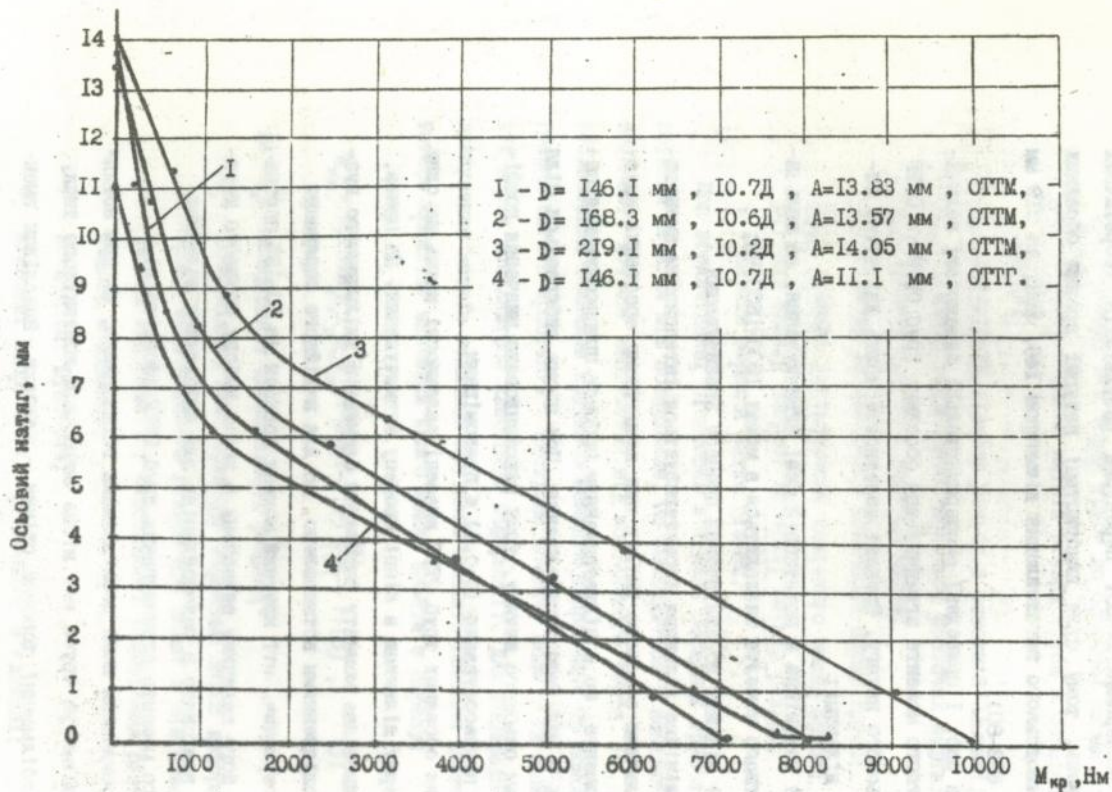


Рис. 1. Залежність величини крутного моменту від натягу при згинчуванні обсадних труб

з'єднаннях обсадних труб. ОТТГ є досконалішими, оскільки величина регламентованого для них осьового натягу згідно ГОСТ 632-80 на 40% менша, ніж для ОТТМ.

Результати експериментальних досліджень показали, що розподіл кільцевих напружень носить нелінійний характер. Найбільш навантаженими є ділянки, які прилягають до кінців труби і муфти, що пояснюється їх більшою радіальною податливістю в цих перерізах. Найбільші за величиною напруження в різьбовому з'єднанні при повному виборі пружного натягу виникають в перерізах наближених до торця нарізної частини труби. Для труб ОТТМ діаметром 146 мм, (10,6 Д) вони близькі до межі текучості. З цієї причини збільшувати величину крутного моменту понад рекомендовану недопустимо, інакше різьбове з'єднання буде перевантажено. Характер розподілу кільцевих напружень уздовж згиненого різьбового з'єднання труб ОТТГ такий як і труб ОТТМ, лиш з тією відмінністю, що абсолютні величини цих напружень менші, оскільки менша величина осьового натягу.

ТРЕТІЙ РОЗДІЛ присвячено дослідженню впливу згинаючих моментів на напружений стан обсадних труб та їх різьбових з'єднань.

Одним із основних видів навантажень, що діють на обсадні труби в викривлених свердловинах, є згинаючі моменти, внаслідок дії яких круглий переріз втрачає початкову форму і перетворюється в овальний. Це не тільки зменшує опір труби згину, але і суттєво відбивається на її напруженому стані. Розподіл нормальних згинаючих напружень в поперечному перерізі труби не підпорядковується лінійному закону.

Для оцінки впливу згину на величину поєдваних та кільцевих напружень застосовувалась теорія стійкості тонких

оболонок на основі відповідності обсадних труб кінематичній та статичній гіпотезам Кірхгофа.

За вихідні приймалися спрощені рівняння Мейснера, одержані на основі напівбезмоментної теорії пружних оболонок

$$\begin{aligned} \ddot{\psi} + \mu \cos(\alpha) &= -m \sin(\alpha) ; \\ \ddot{\theta} - \mu \cos(\alpha) &= 0 , \end{aligned} \quad (4)$$

де  $\psi$  і  $\theta$  - невідомі функції;

$\alpha$  - кут нахилу дотичної серединної поверхні поперечного перерізу обсадної труби;

$\mu, m$  - безрозмірні параметри кривини осі труби.

В даному випадку диференціювання функцій  $\psi$ ,  $\theta$  проводилося по безрозмірній координаті  $\theta$ , пропорційній довжині меридіану серединної поверхні  $S$ , що відраховується від вибраного початку координат.

$$\theta = S/b ,$$

де  $b$  - периметр поперечного перерізу серединної поверхні розділений на  $2\pi$ .

Безрозмірні параметри кривини труби та її зміни визначаються з виразів

$$\mu = \sqrt{12(1-\nu^2)} \frac{b^3}{\rho h} ; \quad m = \mu \left(1 - \frac{\rho}{\rho_0}\right) , \quad (5)$$

де  $\rho_0, \rho$  - відповідно радіуси кривини осі труби до і після деформації;

$h$  - товщина стінки труби.

При розв'язку задачі прийняті припущення, що труба виготовлена з ізотропного матеріалу, а розміри її поперечного перерізу малі в порівнянні з радіусом кривини.

В результаті були одержані такі вирази для визначення напружень

а) поздовжніх

$$\sigma_{\parallel} = E\epsilon^0 [b_1 \cos\theta + 3b_2 \cos 3\theta \pm \nu \sqrt{\frac{3}{1-\nu^2}} (2a_2 \cos 2\theta + 4a_4 \cos 4\theta)]; \quad (6)$$

б) кільцевих

$$\sigma_{\perp} = E\epsilon^0 \left[ \pm \sqrt{\frac{3}{1-\nu^2}} (2a_2 \cos 2\theta + 4a_4 \cos 4\theta - \frac{b}{\rho} (b_1 \sin\theta + b_2 \sin 3\theta) \times (S_1 \sin\theta + S_2 \sin 3\theta)) \right]. \quad (7)$$

Знаки (+) і (-) відповідають напруженням на внутрішній і зовнішній стінках труби.

Запропоновані формули дозволяють визначити величину поздовжніх і кільцевих напружень згину, які діють в будь-якій точці поперечного перерізу труби з врахуванням зміни радіуса кривини в межах від  $\rho_0$  до  $\rho$  та полярного кута  $\theta$  від 0 до  $2\pi$ . Оскільки початок відліку полярного кута знаходиться на нейтральній лінії (площина більшої осі овального перерізу), то очевидно, що максимальні поздовжні напруження розтягу наявні при  $\theta = (1/2)\pi$ , а максимальні стискувачі-при  $\theta = (3/2)\pi$ . На ці ж точки приходиться також максимум кільцевих напружень.

Аналіз результатів розрахунків показує, що переважаючий вплив на міцність обсадних труб при згині мають поздовжні напруження, які при малих  $r$  цусах кривини досягають великих значень. Так, наприклад, при згині труби діаметром 168 мм до радіуса 81,8 м (інтенсивність викривлення 7 градусів на 10 м, поздовжні згинаючі напруження дорівнюють 202,5 МПа.

Для оцінки напруженого стану обсадних труб та різьбових з'єднань при згині проводились експериментальні дослідження. З цієї метою була розроблена методика та виготовлений спеціальний стенд, де проведені експерименти із зразками натурних обсадних труб діаметром 146, 168 та 219 мм при інтенсивності

викривлення поздовжньої осі труби від 0 до 7 градусів на 10 метрів з інтервалом виміру напружень через 1 градус на 10 метрів.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що характер розподілу поздовжніх згинаючих напружень уздовж різьбового з'єднання має нелінійний характер при будь-якому радіусі викривлення труби. Максимальних величин напруження досягають в перерізі збігу різьби, поступово зменшуючись як до торця різьбової частини труби, так і в протилежному напрямку. Напруження в гладкій частині труби за величиною близькі до вирахованих за теоретичними залежностями (6), (7), тоді як в перерізі збігу різьби вони на 35-40% більші, оскільки перехід від гладкої частини труби до різьби є концентратором напружень. Поступове зменшення напружень в нерівній частині труби в напрямку до її торця пояснюється збільшенням жорсткості конструкції різьбового з'єднання за рахунок муфти. При інтенсивності викривлення труби до 5 градусів на 10 метрів поздовжні напруження в ділянках прилягаючих до торця різьбової частини труби, менші, ніж напруження в тілі гладкої труби, з тієї ж причини.

Вимір напружень в муфті проводився як в різьбовому з'єднанні заводської зборки, так і в з'єднанні, зібраному на стенді. За абсолютною величиною напруження в тілі муфти найменші, а їх розподіл також має нелінійний характер, і є симетричним відносно середнього перерізу.

Розподіл поздовжніх згинаючих напружень в різьбових з'єднаннях ОТГ має деякі особливості, хоч загальний характер їх зміни такий же як і для інших різьб. В перерізі збігу різьби величина напружень для різьб ОТМ і ОТГ практично однакова, тоді як в різьбовій частині - різна. При малих зна-

ченнях інтенсивності викривлення труби, зростання напружень на торці труби ОТТ незначне, і тільки починаючи з інтенсивності викривлення 5 градусів на 10 метрів напруження помітно зростають, хоч залишаються меншими в порівнянні з трубами ОТМ. Це пояснюється тим, що за рахунок ущільнюючого ласка, на якому нарізка відсугня, приторцева ділянка труби знаходиться в затиснених умовах. Отже, використовувачи довшу різьбу можна досягти деякого зменшення напружень в різьбовому з'єднанні, крім перерізу збігу різьби. Напружений стан згаданого перерізу не залежить від довжини різьби, а є функцією радіуса викривлення осі труби та наявності концентрації напружень, зумовлених особливостями деформування згвинчених труб.

Зі збільшенням діаметра обсадних труб, зростають поздовжні згинаючі напруження в гладкій частині обсадної труби та елементах різьбового з'єднання, що слід враховувати при проектуванні профіля та конструкції похило-направленої свердловини.

В ЧЕТВЕРТОМУ РОЗДІЛІ описані методи та способи підвищення пружності різьбових з'єднань обсадних труб, а також результати промислових випробувань рекомендованих розробок.

На підставі результатів досліджень вироблена методика визначення величини крутного моменту згвинчування обсадних труб ОТМ та ОТТ, яка враховує діаметр труби, товщину стінки, групу міцності сталі та межі зміни осевого натягу. Розрахунок проведено для обсадних труб діаметром від 109,7 до 244,5 мм, які найчастіше застосовуються для кріплення викривлених свердловин. Для прикладу в табл. I приведені величини крутних моментів для обсадних труб діаметром 146,1 мм.

Таблиця І.

Величини крутних моментів згвинчування  
обсадних труб ОТТМ та ОТТГ

Товщина стілки, мм	О Т Т М   О Т Т Г					
	Межі осьового натягу, мм					
	А - 3	А	А + 3	А - 2	А	А + 2
Крутний момент, Нм						
6,5	3960	5030	6100	-	-	-
7,0	4360	5480	6650	-	-	-
7,7	4590	5840	790	-	-	-
8,5	4970	6320	7670	5040	6300	7550
9,5	5390	6960	8330	5480	6840	8170
10,7	5850	7440	9030	5940	7420	8900

Для контролю величини крутного момента при згвинчуванні обсадних труб в процесі спуску обсадних колон нами сконструйований моментомір "ІМ-3". Запропонований пристрій складається з блока живлення, датчика сприйняття навантаження, показувачого приладу циферблатного типу, кабельних ліній та предувальної оснастки. Принцип дії моментоміра полягає в перетворенні крутного момента, прикладеного до різьбового з'єднання через ключ УМК при згвинчуванні або розгвинчуванні труб в пропорційний електричний сигнал, який поступає на показувачий прилад протарований в поділках величини крутного момента. Моментомір живиться постійним струмом напругою 24 В і дозволяє вимірювати величини крутного момента в діапазоні від 100 до 19000 Нм при відносній похибці  $\pm 4,5\%$ .

Моментомір пройшов промислові випробування в різних кліматичних умовах, які підтвердили технологічність та надійність його роботи.

Одним з найбільш поширених дефектів кріплення похлюнаправлених свердловин є негерметичність різьбових з'єднань. Відомі на сьогодні способи та матеріали для ущільнення

різбових з'єднань не дають очікуваного результату, особливо в інтенсивно викривлених свердловинах. З метою забезпечення герметичності нами розроблене з'єднання обсадних труб, конструкція якого передбачає утворення замкнутого об'єму, в якому розміщується ущільнюоче кільце. Останнє виконане в вигляді порожнистого тора заповненого рідиною. При згинчуванні різбового з'єднання ущільнюоче кільце стискується і набуває форми замкнутого об'єму, утворюючи еластичну самоущільнюочу манжету. Таке різбове з'єднання зберігає герметичність при дії згинаючих моментів, які деформують трубу і муфту.

При спуску обсадних колон секціями, в процесі стикування наявний позовжній згин труб внаслідок розвантаження верхньої частини на стикувочому пристрої. В розробленому нами пристрої для стикування секцій обсадних колон, відсутні недоліки, притаманні відомим конструкціям. Крім цього, він дозволяє також здійснювати осьове та обертове переміщення верхньої секції і встановлювати муфту труби над ротором на необхідній висоті.

Розрахунок на міцність обсадних труб ОТМ та ОТГ при кріпленні похило-направлених свердловин рекомендується проводити з врахуванням згину за таким виразом

$$[P]^* = [P] - P_{зг} \quad (8)$$

де  $[P]^*$  - допустиме осьове навантаження на різбове з'єднання при дії згинаючої та розтягуючої сил;

$[P]$  - допустиме осьове навантаження на різбове з'єднання згідно РД-39-7/Т-0001-83;

$P_{зг}$  - величина розтягуючого навантаження за рахунок згинаючого моменту.

$$P_{зг} = (1,35 - 1,4)\sigma_{н} F, \quad (9)$$

де  $F$  - площа поперечного перерізу обсадної труби в перерізі збігу різьби.

За формулою (9) проведені розрахунки величин розтягуючих навантажень на різьбобі з'єднання обсадних труб в залежності від їх діаметра та товщини стінки при зміні інтенсивності викривлення труб від 0 до 7 градусів на 10 м. Так наприклад, для обсадних труб діаметром 146,1 мм і товщиною стінки 13,7 мм величина розтягуючого навантаження внаслідок згину, при інтенсивності викривлення 1 градус на 10 метрів дорівнює 162,9 кН, а при 7 градусах - 1038,1 кН.

Для зручності розрахунку обсадних труб на міцність з врахуванням згину, доцільно скористатися побудованими ними графіками, які базуються на теоремі П.Ф.Папковича про випуклість областей стійкості оболонок.

#### ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

I. Теоретично та експериментально досліджено вплив величини крутного моменту на напружений стан різьбових з'єднань обсадних труб при згвинчуванні:

- одержані залежності для визначення величини крутного моменту згвинчування різьбових з'єдань обсадних труб ОТМ і ОТГ з умови вибору величини пружного натягу, та його максимально допустимого значення. Доведено, що величина крутного моменту згвинчування обсадних труб ОТГ для забезпечення спраження елементів вузла герметичності повинна збільшуватись в 1,15 рази;

- експериментально встановлені закономірності розподілу кільцевих напружень в різьбових з'єднаннях обсадних труб

ОТТМ і ОТТГ при згинчуванні. Величини напружень поза межами впливу крайового ефекту з достатньою точністю збігаються з аналітичними, визначеними із залежностей Ляме; - встановлено, що для забезпечення працездатності різбових з'єднань необхідно здійснювати контроль як за величиною осьового натягу, так і крутним моментом згинчування.

2. Одержані залежності для визначення поздовжніх та кільцевих напружень при дії на обсадні труби згинаючих моментів. Вказані залежності дозволяють встановити характер розподілу напружень як по периметру поперечного перерізу, так і по товщині стінки труби.
3. Розроблений стенд і методика проведення експериментальних досліджень напруженого стану обсадних труб та їх з'єднань при дії згинаючих моментів. Встановлено, що при згині труби найбільш напруженою стає її нарізна частина. Максимальних величин згинаючі поздовжні напруження досягають в перерізі збігу різби, де вони на 35-40% перевищують напруження в гладкій частині труби. Показано, що в з'єднаннях з трикутним профілем напруження уздовж різби на 10-15% більші, ніж в трапецевидних, тоді як величина напружень в перерізі збігу різби не залежить від її типу та довжини.
4. На підставі результатів теоретичних та експериментальних досліджень уточнена методика розрахунку на міцність обсадних труб типу ОТТМ і ОТТГ при кріпленні похило-направлених свердловин.
5. З меток підвищення надійності роботи обсадних труб при кріпленні свердловин розроблені:
  - моментомір для контролю величини крутного моменту згинчування різбових з'єднань обсадних труб;

- спосіб з'єднання обсадних труб для підвищення герметичності;
- пристрій для стикування секцій обсадних колон який, попереджує їх поздовжній згин у вертикальних свердловинах;
- пристрій для центрування обсадної колони в похило-направлених свердловинах.

Рекомендовані до впровадження розробки використовувались при кріпленні свердловин в ВГО "Амалнафтогазгеологія", Долинському УБР ("Укрнафта"), Чорноморському УРБ, ВО "Сахалінморнафтогаз" з загальним економічним ефектом 167 тис.руб. в цінах до 1991 року.

Основний зміст дисертації опубліковано в таких роботах:

1. Коцкулич Я.С., Тершак Е.А., Сєнжикович Н.В. О повышении надежности работы резьбовых соединений обсадных колонн //2-я Всесоюзная науч.-тех.конф. "Ескрятие нефтегазовых пластов и освоение скважин".: Тезисы. г.Ивано-Франковск, 1988, - с.2.

2. Сєнжикович Н.В. Исследование влияния изгибающих нагрузок на надежность работы обсадных труб //Науч.- практ. конф. "Проблемы научно-технического прогресса в строительстве скважин в Западной Сибири".: Тезисы. г.Тюмень, 1990, -с. 42-43.

3. А.с. 1677238 СССР, МКИ Е 21В 17/10. Центратор обсадной колонны /Коцкулич Я.С., Сєнжикович Н.В. и др. (СССР). - № 4666802/03; Заявл. 27.03.89; Опубл. 15.09.91, Бюл. № 34.

4. А.с. 1735567 СССР, МКИ Е 21В 17/08. Устройство для соединения секций обсадных колонн / Коцкулич Я.С., Сєнжикович Н.В. и др. (СССР). - № 48327425/03; Заявл. 21.05.90; Опубл. 23.05.92, Бюл. № 19.

5. А.с. 1680935 СССР, МКИ Е 21В 17/042. Соединение обсадных труб /Коцкулич Я.С., Сенишкovich Н.В. и др. (СССР). - № 4714287/03; Заявл. 04.07.89; Опубл. 30.09.91, Бюл. № 36.

6. А.с. 1666685 СССР, МКИ Е 21В 45/00. Устройство для контроля крутящего момента при свинчиваг ч труб над устьем скважины /Коцкулич Я.С., Сенишкovich Н.В., Тищенко А.В. и др. (СССР). № 4714288/03; Заявл. 04.07.89; Опубл. 30.09.91, Бюл. № 28.

7. А.с. 1562426 СССР, МКИ Е 21В 33/10. Устройство для поинтервальной опрессовки обсадной колонны скважины /Коцкулич Я.С., Сенишкovich Н.В. и др. (СССР)- 4394859/03; Заявл. 21.03.88; Опубл. 07.05.90, Бюл. № 17.

8. Коцкулич Я.С., Сенишкovich Н.В., Тищенко А.В. Исследование напряжений в трубах при изгибе обсадной колонны //Техника и технология бурения глубоких скважин /Тр. БелНИГРИ. - Минск, 1992. - с. 17-22.

9. Коцкулич Я.С., Сенишкovich М.В. Стенд для дослідження напруженого стану та герметичності різбових з'єднань обсадних труб //Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. -Виш. ш. - Львів: Вища школа, 1992. - с. 65-67.

10. Коцкулич Я.С., Сенишкovich М.В. Визначення оптимальних величин крутного момент згвинчування обсадних труб з трапецієвидною різбою //Наук.-техн.конф. професорсько-викладацького складу інституту нафти і газу : Тези. м. Іван Франківськ, 1994, - с. 59-60.

11. Пат. 2019675, МКИ Е 21В 17/00. Стенд для исследования резьбовых соединений труб нефтяного сортамента / Коцкулич Я.С., Сенишкovich Н.В. и др. (UA). - № 4827132/03; Заявл. 21.05.90; Опубл. 15.09.94, Бюл. № 17.

12. Коцкулич Я.С., Сенишкovich М.В. До проблеми герметич-

ності нарізних з'єднань обсадних труб // Наук.-практ. конф. "Стан, проблеми і перспективи розвитку нафтогазового комплексу Західного регіону України".: Тези. Львів, 1995, - с. 152.

13. Сенюшкович М.В., Тіщенко О.В. Експериментальні дослідження непруженого стану обсадних труб при згині // Наук.-техн. конф. професорсько-викладацького складу університету, нафти і газу. : Тези. м. Івано-Франківськ, 1995, - с. 82.

14. Коцкулич Я.С., Сенюшкович М.В., Розрахунок величини крутного моменту згинчування обсадних труб ОТМ і ОТГ / Івано-Франк. держ. техн. ун-т нафти і газу. Київ, 1995, - 7с. Деп. в ДНБ України 13.04.95. № 886-Ук.95.

15. Сенюшкович М.В. Розрахунок обсадних колон на міцність при кріпленні похило-направлених свердловин / Івано-Франк. держ. техн. ун-т нафти і газу. Київ, 1995.- 10с. Деп. в ДНБ України 01.06.95. № 1368-Ук.95.

Сенюшкович Н.В. Повышение работоспособности резьбовых соединений обсадных труб для крепления наклонно-направленных скважин.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.10 - бурение скважин. Ивано-Франковский государственный технический университет нефти и газа, 1995.

Защищается 9 научных работ и 6 авторских свидетельств, которые содержат теоретические и экспериментальные исследования проблемы работоспособности резьбовых соединений обсадных колонн в наклонно-направленных скважинах. Предложена методика определения величины крутящего момента свинчивания обсадных труб ОТМ и ОТГ и уточнен их расчет на прочность с учетом изгиба. Разработаны технические средства

ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗОГНУТЫХ  
ОБСАДНЫХ КОЛОНН.

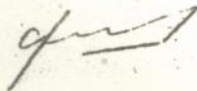
Senyushkovyoh N.V. The Increase of Efficiency of  
Threaded Joints of Casing for Cementing of Incline-Directed  
Wells.

The dissertation for a Master's Degree in engineering  
in the field of wells drilling (05.15.10), State Technical  
University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 1995.

It presents 9 scientific papers and 6 author's  
certificates containing theoretical and experimental  
investigations of the problem of efficiency of threaded  
joints of casing in incline-directed wells.

The methods of determination of value of torque of  
screwing of casing "OTM" and "OTTG" and its calculations on  
the strength with the account of bent have been given. The  
technical means for increasing of the reliability of  
operation of bent casing have been developed.

Ключові слова: обсадні колони, різьбові з'єднання,  
крутний момент, осьовий натяг, напруження.



Підписано до друку 95 р., ф. 60 x 84,  
I/I6, зем. I66, др.зрк. I, тир. I00 прим.  
Івано-Франківський державний технічний  
університет нафти і газу.  
Дільниця оперативної поліграфії, Карпатська 15.

454374

AB 32.859

**AB 32.859**