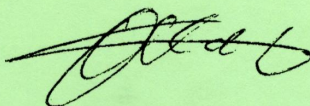


622.245.1(043)
M29

Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу

Марцинків Олег Богданович



УДК 622.245.1(043)
M29

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ОБСАДНИХ КОЛОН
У ПОХИЛО-СКЕРОВАНИХ СВЕРДЛОВИНАХ**

05.15.06 – Розробка нафтових та газових родовищ

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ - 2010

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.



Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Коцкулич Ярослав Степанович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу,
завідувач кафедри буріння нафтових
і газових свердловин

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Мойсишин Василь Михайлович,
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу,
завідувач кафедри вищої математики

кандидат технічних наук, доцент
Тершак Богдан Андрійович,
науково-дослідний і проектний інститут
ВАТ «Укрнафта»,
м. Івано-Франківськ,
заступник директора з будівництва свердловин

Захист відбу-
спеціалізованої вче
технічного універс
Франківськ, вул. Ка

З дисертації
Івано-Франківської
адресою: 76019, Ук

Автореферат розісл

Учений секретар ст
кандидат технічни



an2106

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним з основних шляхів нарощування обсягів видобування вуглеводнів в Україні є буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин як на нових родовищах, так і на тих, що знаходяться в експлуатації. Протягом останніх років провідні зарубіжні компанії досягли значних успіхів у цій області. Високу ефективність розробки нафтових родовищ такими свердловинами підтверджено як в Україні, так і у світовій практиці.

Під час буріння та експлуатації похило-скерованих свердловин підвищується імовірність ускладнень та аварій, найбільш затратними серед яких є пошкодження обсадних колон. Аналіз статистичних даних показує, що близько 7 % всіх аварій в бурінні припадає на аварії з обсадними колонами, на ліквідацію яких витрачається майже 12 % від усього аварійного часу. Нерідко ремонтно-відновлювальні роботи не дають позитивних результатів, і закінчені свердловини, в тому числі і такі, що знаходяться в експлуатації, приходиться ліквідувати. Це призводить, крім значних матеріальних втрат, до порушення режимів відбору пластових флюїдів, зниження коефіцієнтів флюїдовилучення, забруднення довкілля та інше. Так, в БУ «Укрбургаз» протягом останніх десяти років кількість випадків неякісного кріплення свердловин зростає переважно за рахунок збільшення обсягів буріння похило-скерованих свердловин.

Згин обсадних труб в похило-скерованих свердловинах є причиною виникнення додаткових навантажень, що діють на обсадну колону, з одного боку і зниження міцнісних характеристик труб – з іншого. Це пояснюється тим, що згин труб призводить до збільшення овальності їх поперечного перерізу і, як наслідок, суттєвого зменшення величини зовнішнього критичного тиску. Формули, рекомендовані для визначення величини зовнішнього критичного тиску Булгаковим Б.В., Саркісовим Г.М., Гайворонським А.А., Єременком Т.Ю., Мочернюком Д.Ю. та іншими вченими, враховують овальність і різностінність труб, в той же час зміну напруженого стану і форми поперечного перерізу труби у разі згину не враховують.

Таким чином, розроблення методів і засобів, спрямованих на підвищення надійності роботи обсадних колон у похило-скерованих свердловинах, є актуальним і потребує подальшого вивчення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота входить до науково-тематичних планів Міністерства освіти і науки України та підприємств нафтогазовидобувної галузі України. Результати роботи використано під час виконання держбюджетної теми за договором ГМ-16 «Розробка інструкції з розрахунку обсадних колон для нафтових і газових свердловин» (№ ДР 0102U001919) та госпдоговірних тем за договорами № 2/99 «Розробка рекомендацій по підвищенню надійності роботи обсадних колон при бурінні свердловин на родовищах ВАТ «Укрнафта» (з 01.01.99 р. до 31.12.2000 р.) і № 21/99 «Розробка рекомендацій з оптимізації процесу згвин-

an2105 - 000000

чування обсадних труб» (з 02.01.99 р. до 30.06.2000 р.), що виконувались в науково-дослідному інституті нафтогазових технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Мета і завдання дослідження. *Метою* роботи є підвищення надійності роботи обсадних колон під час спорудження та експлуатації похило-скерованих свердловин.

Для досягнення мети поставлено такі основні *завдання*.

1. Дослідження факторів, що призводять до пошкодження обсадних колон у похило-скерованих свердловинах.

2. Аналіз ефективності існуючих методів підвищення надійності обсадних колон під час спорудження та експлуатації похило-скерованих свердловин.

3. Теоретичні дослідження впливу згину обсадних труб на зміну овальності їх поперечного перерізу і величину зовнішнього критичного тиску.

4. Експериментальні дослідження впливу згину на напружено-деформований стан обсадних труб.

5. Удосконалення методики розрахунку обсадних колон на міцність для кріплення похило-скерованих свердловин.

Об'єктом дослідження даної роботи є надійність роботи обсадних колон у похило-скерованих свердловинах, а *предметом дослідження* – зміна напружено-деформованого стану обсадних труб та їх опірність зовнішньому надлишковому тиску при згині.

Методи дослідження. Поставлені завдання вирішено шляхом теоретичних та експериментальних досліджень з обробленням одержаних результатів методами математичної статистики.

Вірогідність отриманих результатів роботи підтверджено експериментальними дослідженнями на моделях обсадних труб, їх сумісністю з відомими в літературі даними, а також промисловими випробуваннями запропонованих розробок.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Одержано теоретичну залежність між величиною овальності обсадних труб і радіусом їх викривлення.

2. Вперше розв'язано задачу з визначення величини зовнішнього критичного тиску обсадних труб із врахуванням інтенсивності викривлення їх поздовжньої осі.

3. Удосконалено методику розрахунку обсадних колон для кріплення похило-скерованих свердловин, в якій враховано інтенсивність викривлення свердловини, початкову овальність та коефіцієнт стійкості обсадних труб.

Основні положення, що захищаються.

1. Результати теоретичних досліджень впливу інтенсивності викривлення обсадних труб на величину зовнішнього критичного тиску.

2. Теоретичні залежності, які описують вплив кривизни обсадної колони на форму поперечного перерізу труб.

3. Результати експериментальних досліджень впливу згину на напружений стан моделей обсадних труб і форму їх поперечного перерізу при одночасній дії внутрішнього тиску і згинаючої сили.

4. Удосконалена методика проектування обсадних колон для кріплення похило-скерованих свердловин.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Систематизовано причини неякісного кріплення похило-скерованих свердловин на родовищах БУ “Укрбургаз”.

2. Розраховано міцнісні характеристики обсадних труб із врахуванням згину.

3. Розроблено рекомендації з підвищення надійності роботи обсадних колон для кріплення похило-скерованих свердловин. Рекомендації передано для впровадження під час спорудження свердловин на родовищах БУ “Укрбургаз” і ВАТ “Укрнафта”.

4. Результати наукових досліджень використовуються у навчальному процесі кафедрю буріння нафтових і газових свердловин ІФНТУНГ при вивченні дисципліни «Закінчування свердловин».

Особистий внесок здобувача. Постановка задач за темою дисертації належить науковому керівнику д.т.н., професору Коцкуличу Я.С. [1 – 5]. Особисто автором проведено огляд літературних джерел, систематизовано причини і доповнено класифікацію з неякісного кріплення похило-скерованих свердловин обсадними колонами [6], здійснено теоретичні [3, 7 – 9] та експериментальні [4, 5] дослідження, проаналізовано їх результати, розроблено рекомендації.

Апробація результатів дисертації. Основні результати та положення дисертаційної роботи доповідались на:

- науково-практичній конференції «Стан, проблеми і перспективи розвитку нафтогазового комплексу Західного регіону України», 1995, м. Львів;

- міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток наукових досліджень 2009», 2009, м. Полтава;

- науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, 1999 – 2007рр., м. Івано-Франківськ.

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковано в 9 наукових працях, з них 6 статей у фахових виданнях та 3 тези доповідей на конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційну роботу складено із вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків. Матеріал викладено на 156 сторінках машинописного тексту; робота містить 31 рисунок, 18 таблиць, 124 назви бібліографічних джерел.

Автор висловлює щиро подяку науковому керівнику д.т.н., професору Коцкуличу Я.С. за допомогу і корисні поради, а також колективу кафедри буріння нафтових і газових свердловин за підтримку та створення сприятливих умов для виконання роботи.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, відображено наукове та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проведений аналіз факторів, що впливають на надійність роботи обсадних колон при кріпленні похило-скерованих свердловин, та зроблено критичний огляд сучасних методів розв'язання вказаної проблеми.

Однією з важливих проблем будівництва свердловин є забезпечення надійності роботи обсадних колон. За умовами експлуатації обсадні колони у нафтових і газових свердловинах повинні задовільняти вимогам міцності під час дії осьових розтягуючих сил, внутрішнього та зовнішнього тисків, а також забезпечувати на належному рівні герметичність різьбових з'єднань на всіх стадіях роботи свердловини.

Аналіз статистичних даних з кріплення свердловин буровими підприємствами БУ «Укрбургаз» показав, що при будівництві свердловин на усунення ускладнень та аварій з кріплення витрачається близько 10-12 % від загального часу на ліквідацію ускладнень та аварій. Частка цих витрат зростає із збільшенням обсягів буріння похило-скерованих свердловин.

Аналізом промислових даних встановлено основні види неякісного кріплення похило-скерованих свердловин обсадними колонами, а саме:

- недопуск обсадних колон до проектної глибини;
- радіальне деформування обсадних труб;
- втрата поздовжньої стійкості обсадних колон;
- розрив обсадних труб внаслідок створення внутрішнього тиску, що перевищує допустиму величину;
- механічне і корозійне зношування.

Кількість факторів, що спричиняють неякісне кріплення похило-скерованих свердловин, досить велика, тому проведено їх систематизацію та оцінювання вагомості кожного з них.

У дисертаційній роботі запропоновано види неякісного кріплення похило-скерованих свердловин обсадними колонами розділити на дві групи:

- 1 – пошкодження обсадних колон;
- 2 – недопуск колон і неякісне стикування секцій.

Основною причиною неякісного кріплення похило-скерованих свердловин вважають пошкодження, які зумовлені неправильними розрахунками обсадних колон на міцність, порушеннями технологій кріплення свердловини, зношуванням обсадних колон і гірничо-геологічними умовами. Недопуски колон до проектної глибини і неякісне стикування секцій є вторинними, так як вони спричинені гірничо-геологічними умовами і недотриманням технології їх спуску.

Тривалість безаварійної експлуатації нафтових і газових свердловин головним чином залежить від надійності їх кріплення. На сьогодні при вико-

нанні розрахунків припускають, що механічні характеристики матеріалу обсадних труб, їх геометричні розміри, коефіцієнти запасу міцності, навантаження, що діють у свердловині, та властивості тампонажного каменя – стали величини. У чинних методиках проектування обсадних колон не враховано вплив згину на опірність обсадних труб зовнішньому надлишковому тиску при кріпленні похило-скерованих свердловин, обсяги будівництва яких з кожним роком збільшуються. Це призводить до того, що достовірність результатів розрахунків знижується в міру збільшення терміну служби обсадних колон, внаслідок чого чинні методики їх розрахунку на міцність не забезпечують безаварійної роботи свердловин. Через певний час окремі обсадні колони виходять з ладу, незважаючи на те, що всі розрахунки виконують відповідно до вимог чинних нормативних документів. З промислової практики відомо багато випадків, коли обсадна колона, яку розраховано з достатнім запасом міцності, через певний період експлуатації виходить з ладу під дією різних видів навантажень. Одним з найчастіших видів пошкодження обсадних колон у похило-скерованих свердловинах є деформування обсадних труб як рівномірним, так і нерівномірним зовнішнім тиском, що створюється оточуючим середовищем через певний час з початку експлуатації. Тому запропоновані методики розрахунку обсадних колон справедливі тільки для початкового періоду експлуатації свердловин.

На підставі викладеного можна зробити висновок про необхідність проведення теоретичних та експериментальних досліджень з впливу згину обсадних колон на форму поперечного перерізу труб і величину зовнішнього критичного тиску, результати яких повинні враховуватись при проектуванні обсадних колон для кріплення похило-скерованих свердловин.

У другому розділі наведено теоретичні дослідження впливу згину обсадної колони на овальність і міцність обсадних труб при дії зовнішнього надлишкового тиску.

При проектуванні обсадних колон для кріплення похило-скерованих свердловин, як і для вертикальних, величину зовнішнього критичного тиску для овальних різностінних труб прийнято визначати за формулою Г.М.Саркісова, якою не враховують вплив згину на зміну напруженого стану і форми поперечного перерізу труби і, як наслідок, на їх міцність при дії зовнішнього надлишкового тиску. На стадії проектування розрахунок обсадних колон для похило-скерованих свердловин проводять із врахуванням проектного профілю. Порівняно з розрахунком колон для вертикальних свердловин різниця полягає тільки у визначенні коефіцієнтів запасу міцності на розтяг залежно від інтенсивності викривлення свердловини. Вплив згину труб на опірність зовнішньому тиску не враховують у зв'язку з відсутністю достатньо обґрунтованих результатів досліджень.

Умови роботи обсадних колон у похило-скерованих свердловинах ускладнюються виникненням додаткових напружень внаслідок згину труб, що знижує їх міцнісні характеристики. Найсуттєвіше згин обсадної колони

впливає на величину зовнішнього критичного тиску та допустимої осьової розтягуючої сили.

Для оцінювання напруженого стану труби, яка має відхилення поздовжньої осі від прямолінійної, нами використано теорію тонких оболонок, яка ґрунтується на кінематичній і статичній гіпотезах Кірхгофа.

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

$$\begin{aligned} \psi + v \nu \cos \alpha &= -m \sin \alpha; \\ \nu - v \psi \cos \alpha &= -p_0 f. \end{aligned} \quad (1)$$

Крапки над невідомими функціями ψ і ν означають диференціювання по безрозмірній координаті η , пропорційній довжині меридіану серединної поверхні S , відрахованої від вибраного початку координат

$$\eta = \frac{S}{l}, \quad (2)$$

де l - периметр поперечного перерізу труби, поділений на 2π ;

ψ, ν - невідомі функції η ;

α - кут між дотичною до серединної поверхні труби (в точці з координатою η) і віссю z (рис. 1);

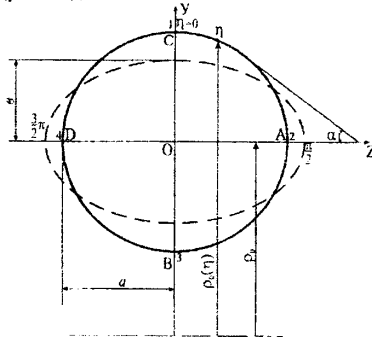


Рис. 1. Схема зміни форми поперечного перерізу при згині обсадної колонни

ν, m – безрозмірні параметри кривизни труби і її зміни

$$\begin{aligned} \nu &= \sqrt{12(1-\mu^2)} \frac{l^2}{\rho \delta}; \\ m &= \nu \left(1 - \frac{\rho}{\rho_0} \right), \end{aligned} \quad (3)$$

де ρ_0, ρ - відповідно радіуси кривизни осі труби до і після деформації,

м;

μ - коефіцієнт Пуассона;

δ - товщина стінки труби, м;

f - функція, яка враховує в рівняннях (1) зовнішній тиск p_0

$$f = (v \sin \alpha - \cos \alpha) \int_0^{\eta} (\cos \alpha - v \sin \alpha) d\eta - (\sin \alpha + v \cos \alpha) \int_{\frac{\pi}{2}}^{\eta} (\sin \alpha + v \cos \alpha) d\eta; \quad (4)$$

p_0 - безрозмірний параметр зовнішнього тиску, що враховує кривизну і зміну форми поперечного перерізу труби

$$p_0 = 12(1 - \mu^2) \frac{P_1}{E} \left(\frac{t}{\delta} \right)^3, \quad (5)$$

де E - модуль пружності матеріалу труби, Па.

При розв'язку задачі прийняті припущення, що трубу виготовлено з ізотропного матеріалу, а розміри її поперечного перерізу малі порівняно з радіусом кривизни осі труби.

В результаті були одержані вирази для визначення поздовжніх σ_1 і кільцевих σ_2 напружень, що виникають у перерізі труби, яка має відхилення форми поздовжньої осі від прямолінійної

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{E \delta}{t \sqrt{12(1 - \mu^2)}} \left(\psi \pm \mu \sqrt{\frac{3}{1 - \mu^2}} v \right); \\ \sigma_2 &= \frac{E \delta}{t \sqrt{12(1 - \mu^2)}} \left(\pm \sqrt{\frac{3}{1 - \mu^2}} v - \psi \frac{t}{\rho_0} \sin \alpha \right) - p_0 \frac{t}{\delta}. \end{aligned} \quad (6)$$

Підставляючи в (6) функції ψ і v , які розкладемо у вигляді рядів Фур'є, одержуємо

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{E \delta}{t \sqrt{12(1 - \mu^2)}} \left[b_1 \cos \eta + 3b_3 \cos 3\eta \pm \mu \sqrt{\frac{3}{1 - \mu^2}} (2a_2 \cos 2\eta + 4a_4 \cos 4\eta) \right]; \\ \sigma_2 &= \frac{E \delta}{t \sqrt{12(1 - \mu^2)}} \left[\pm \sqrt{\frac{3}{1 - \mu^2}} (2a_2 \cos 2\eta + 4a_4 \cos 4\eta) - \frac{t}{\rho_0} (b_1 \sin \eta + b_3 \sin 3\eta) (\mathcal{S}_1 \sin \eta + \mathcal{S}_3 \sin 3\eta) \right] - p_0 \frac{t}{\delta}. \end{aligned} \quad (7)$$

Знаки «+» і «-» відповідають напруженням на внутрішній і зовнішній стінках труби. Одержані формули дозволяють визначити поздовжні і кільцеві напруження згину, що виникають у будь-якій точці поперечного перерізу об'єкту труби з врахуванням зміни його форми, при дії згинаючого навантаження і тиску в межах зміни полярного кута η від 0 до 2 π .

Найнебезпечнішою буде точка з координатою $\eta=0$, яка знаходиться на внутрішній поверхні труби. В цій точці

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{E \delta}{t \sqrt{12(1 - \mu^2)}} \left[b_1 + 3b_3 + \mu \sqrt{\frac{3}{1 - \mu^2}} (2a_2 + 4a_4) \right]; \\ \sigma_2 &= \frac{E \delta}{t \sqrt{12(1 - \mu^2)}} \sqrt{\frac{3}{1 - \mu^2}} (2a_2 + 4a_4) - p_0 \frac{t}{\delta}. \end{aligned} \quad (8)$$

Величину еквівалентних напружень у небезпечній точці при згині обсадної труби визначають за формулою

$$\sigma_e = \sigma_1 - \sigma_2 \quad (9)$$

Для реальних обсадних труб величини a_4 , b_3 , S_3 , C_3 значно менші від одиниці, і ними можна знехтувати. Прирівнюючи σ_e до границі текучості σ_e , і використовуючи вирази (8), одержуємо спрощене рівняння, з якого можна визначити безрозмірний параметр зовнішнього тиску p_0

$$\sigma_e = E t S_1 \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right) - \frac{3 E \delta p_0 (S_1^2 - C_1^2)}{8 t (1 + \mu)(3 - \rho_0)} + \frac{E p_0}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{\delta}{t} \right)^2 \quad (10)$$

Величину критичного тиску $p_{кр}$, що відповідає даному p_0 , визначають за формулою

$$p_{кр} = \frac{p_0 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{\delta}{t} \right)^2} \quad (11)$$

Для прямолинійної обсадної труби ($\rho_0 \rightarrow \rho = \infty$), коефіцієнти $b_1 = b_3 = 0$. Поздовжні і кільцеві напруження σ_1 і σ_2 в небезпечній точці стають від'ємними і $|\sigma_1| < |\sigma_2|$. У цьому випадку $\sigma_e = |\sigma_2|$, і рівняння, з якого визначають параметр зовнішнього тиску p_0 , набуде вигляду

$$\sigma_e = \frac{3 E \delta p_0 (C_1^2 - S_1^2)}{8 t (1 - \mu^2)(3 - \rho_0)} + \frac{E p_0}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{\delta}{t} \right)^2 \quad (12)$$

Знаючи величину p_0 , з формули (11) визначаємо критичний тиск $p_{кр}$.

Під час розрахунку критичного тиску за формулою (11) із врахуванням згину обсадної колони необхідно порівнювати поздовжні σ_1 і кільцеві σ_2 напруження. Це дає можливість оцінити, за якою формулою необхідно визначити параметр зовнішнього тиску p_0 . Для точки з координатою $\eta = 0$, яка знаходиться на внутрішній поверхні труби, нами одержані розрахункові формули для визначення поздовжніх σ_1 і кільцевих σ_2 напружень

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= E t \delta \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right) + \frac{3 E \delta \mu}{8 t (1 - \mu^2)} \cdot \frac{(S_1^2 - C_1^2) p_0}{3 - \rho_0}, \\ \sigma_2 &= \frac{3 E \delta (S_1^2 - C_1^2) p_0}{8 t (1 - \mu^2)(3 - \rho_0)} - \frac{E p_0}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{\delta}{t} \right)^2. \end{aligned} \quad (13)$$

З формули (10) знаходимо параметр зовнішнього тиску p_0 і підставляємо отримане значення в рівняння (13), порівнюючи величини поздовжніх і кільцевих напружень. Якщо $\sigma_1 \gg \sigma_2$, то в формулу для визначення величини критичного зовнішнього тиску $p_{кр}$ (11) підставляємо значення p_0 , отримане з формули (10). Якщо поздовжні і кільцеві напруження в небезпечній точці стають від'ємними, тобто у разі відсутності згину виникають тільки стискаючі радіальні і кільцеві напруження - параметр зовнішнього тиску p_0 знаходимо з формули (12), і величину критичного тиску $p_{кр}$ будемо визначати як для прямолинійних труб.

Із збільшенням овальності величина зовнішнього критичного тиску зменшується незалежно від радіуса кривизни. Однак, при радіусі кривизни 300 м і більше значення критичних тисків, розрахованих за формулою (11), збігаються при овальності 0,5 % і більше. Це свідчить про те, що при радіусі кривизни осі свердловини 300 м і більше та при овальності труб 0,5 % і більше величина зовнішнього критичного тиску обсадних труб практично не змінюється.

Аналізуючи формули з визначення величини зовнішнього критичного тиску обсадних труб, можна зробити висновок, що існує два підходи до методики розрахунку. Розрахунки виконують за двома принципами, кожен з яких справедливий у певних межах зміни коефіцієнта стінності $k = \delta/d$ (відношення товщини стінки до діаметра труби). На основі досвіду експлуатації і результатів досліджень обсадних труб їх можна умовно розділити на товстостінні, які розраховують на міцність, та тонкостінні, які розраховують на стійкість форми. Такий підхід використано Ф.І. Яковлевим, Д.Ю. Мочернюком і Американським нафтовим інститутом (АНИ).

На наш погляд, недоліком такого підходу є різкий перехід від однієї форми опору конструкції до іншої. Кожному переходу відповідає свій коефіцієнт стінності, який названий граничним ($k_{гр}$). Природно припустити, що поблизу граничної точки і на деякій відстані від неї обидві формули не будуть давати вірогідного результату. Труби з $k \approx k_{гр}$ при відомому значенні границі текучості σ , повинні перш за все перевірятися на стійкість форми.

Експериментальні дослідження Гайворонського А.А., Єременка Т.Ю. показали, що реальні труби завжди мають відхилення від правильної геометричної форми, і труби з k близьким до $k_{гр}$ необхідно перевіряти на стійкість і міцність.

Т.Ю. Єременко відзначає, що критерій поділу труб на тонкостінні і товстостінні експериментальними дослідженнями не підтверджується, і вважає, що умовною границею поділу труб повинна служити величина $k=0,062$. Як показали дослідження, втрата міцності товстостінної труби (зім'яття) при зовнішньому гідростатичному тискові відбувається внаслідок появи пластичних «шарнірів». З цього моменту починається вирівнювання напружень по всьому контуру труби. В проведених автором експериментальних дослідженнях використано обсадні труби з овальністю до 1 %. В зв'язку з цим умовну границю поділу труб на тонкостінні і товстостінні було дещо зміщено в сторону збільшення граничної величини коефіцієнта стінності k на величину 0,02.

Відповідно до сортаменту обсадні труби навіть з найбільшою товщиною стінки (11-14 мм) є порівняно тонкостінними, тобто для них, згідно з основним положенням механіки оболонок, різниця між критичним тиском, який визначають за формулою Барлоу, і зминаючим тиском, при якому труби втрачають міцність в області пластичних деформацій, становить 2-3 %.

Грунтуючись на роботах Т.Ю.Єременка і провівши розрахунки при значеннях $k_{гр}=0,062$, нами отримано дані граничних значень товщин стінок

залежно від діаметра труб. Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок, що труби діаметром 299 мм і більше з товщинами стінок, передбачених сортаментом, можна вважати тонкостінними. Труби діаметрами від 114 мм до 273 мм мають умовну границю розділення, причому вона зростає із збільшенням діаметра труб.

У третьому розділі наведено експериментальні дослідження для оцінки напруженого стану обсадних труб при згині, для чого виготовлено лабораторну установку, яка дозволяла досліджувати напружений стан труб при одночасній дії згинаючої сили і внутрішнього тиску. На рис.2 зображено схему гідравлічної об'язки експериментальної установки.

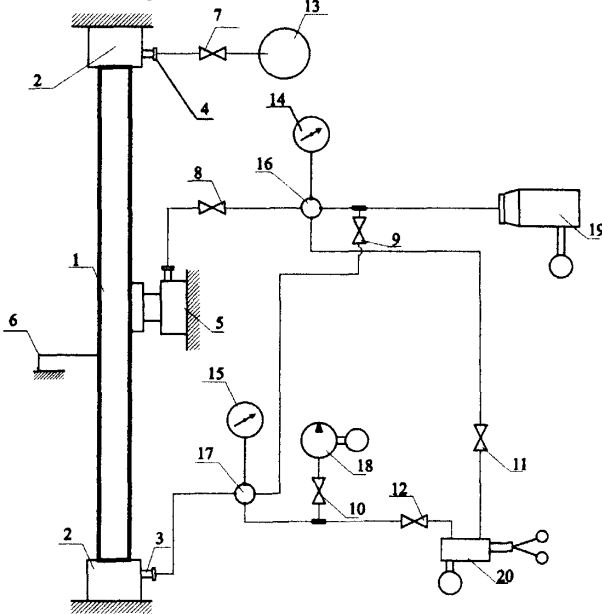


Рис. 2. Схема гідравлічної об'язки установки:

1 – досліджувана труба; 2 – заглушки; 3, 4 – штуцери; 5 – гідравлічний домкрат; 6 – механічний самописець; 7, 8, 9, 10, 11, 12 – вентилі; 13 – приймальна ємкість; 14, 15 – манометри; 16, 17 – маніфольди; 18 – центробіжний насос; 19 – плунжерний насос; 20 – ручний прес.

Деформації заміряли в точках А, В, С і Д (рис. 1).

За результатами досліджень одержано графічні залежності напружень в тілі труби від величини внутрішнього тиску та стріли прогину. Встановлено, що з підвищенням тиску пропорційно збільшуються як поздовжні, так і кільцеві напруження, причому для прямолінійних труб їх величини однакові по всьому поперечному перерізі труби. При збільшенні прогину труби осьові

напруження зростають на випуклій поверхні і зменшуються – на увігнутій. Це означає, що згин спричиняє виникнення розтягуючих напружень по випуклій і стискаючих – по увігнутій поверхні труби. Величини кільцевих напружень на випуклій і на увігнутій поверхнях труби рівні між собою і дещо збільшуються із збільшенням прогину.

Згідно з напівбезмоментною теорією переміщення ω по нормалі до серединної поверхні зв'язано з кутом повороту співвідношенням

$$v = -\frac{1}{t} \frac{d\omega}{d\eta} - \frac{1}{r} \int_r^{\omega} t d\eta, \quad (14)$$

де r – радіус кривизни серединної поверхні труби, м.
Задаючись ω у виді ряду Фур'є

$$\omega = \sum_{n=2,4} \omega_n \cos n\eta \quad (15)$$

і підставивши (15) та функцію v , яка розкладається в ряди Фур'є, в (14), знайдемо залежність коефіцієнтів ω_n ряду для ω від коефіцієнтів a_n .

$$\omega_n = t a_n \frac{n}{n^2 - \frac{t^2}{r^2}}, \quad (16)$$

де a_n – коефіцієнти розкладу.

$$\begin{aligned} a_2 &\approx -\frac{1}{8} v m; \\ a_4 &\approx \frac{-v^2 a_2 + 2 v m S_3 + 18 v C_3 b_1}{576}, \end{aligned} \quad (17)$$

де S_3 і C_3 – коефіцієнти розкладу, які враховують форму поперечного перерізу труби.

Підставивши (16) в (15), одержимо

$$\omega = \sum_{n=2,4} t a_n \frac{n}{n^2 - \frac{t^2}{r^2}} \cos n\eta. \quad (18)$$

Порівняння коефіцієнтів a_2 і a_4 із (17) свідчить, що $|a_4| \ll |a_2|$. Отже, у виразі (18) можна обмежитися тільки одним членом ряду, і тоді, враховуючи, що $t/r \approx 1$, маємо

$$\omega = \omega_2 \cos 2\eta \approx \frac{2}{3} t a_2 \cos 2\eta. \quad (19)$$

З (19) виходить, що точки 1 і 3 (рис. 1) зміщуються до центра на величину $\omega_0 = \frac{2 t a_2}{3}$, а точки 2 і 4 на таку ж величину віддаляються від центра, тобто поперечний переріз серединної поверхні труби ще більше сплющується, як це показано на рис. 1 пунктирною лінією. Велика і мала півосі еліпса в

деформованому стані стають рівними, відповідно, $a + \omega_0$ і $b - \omega_0$. В результаті овальність перерізу збільшується на величину e' і стає рівною

$$e = e_0 + e', \quad (20)$$

$$\text{де } e' = \frac{4a_2}{3}.$$

Аналіз результатів розрахунку підтверджує, що овальність труб збільшується у разі зменшення радіуса викривлення, причому, чим менший радіус викривлення, тим інтенсивніше зростає овальність труб.

Результати експериментальних досліджень використано під час розроблення рекомендацій з підвищення надійності роботи обсадних колон для кріплення похило-скерованих свердловин.

У четвертому розділі наведено заходи з підвищення надійності роботи обсадних колон у похило-скерованих свердловинах.

Показано, що при проектуванні обсадних колон для кріплення похило-скерованих свердловин, крім осьового розтягуючого навантаження, зовнішнього і внутрішнього надлишкового тисків, необхідно враховувати також вплив згинаючих моментів на міцність труб, оскільки вони спричиняють виникнення еквівалентних напружень, що можуть перевищувати границю текучості матеріалу труб.

Одним із основних чинників, який впливає на зниження опірності обсадних труб зовнішньому тиску, є форма поперечного перерізу. Експериментальними дослідженнями Єременка Т.Ю. встановлено, що овальність 168-мм обсадних труб в 1 % призводить до зменшення їх міцності на зм'яття приблизно на 14 %. Однак в розрахунку обсадних колон для кріплення похило-скерованих свердловин не передбачено врахування впливу інтенсивності викривлення свердловини на зміну овальності труб і, відповідно, їх опірності дії зовнішнього тиску.

Суть проектування обсадної колони полягає в тому, що на підставі розрахунків має бути складено таку багатосекційну її конструкцію, яка б відповідала умовам міцності для конкретної свердловини на всіх етапах роботи і, в той же час, була б якомога дешевшою.

Враховуючи те, що навантаження вздовж колони змінюються, а її конструкція має бути рівномірною, обсадну колону комплектують з декількох секцій обсадних труб з різною товщиною стінки і з різних груп міцності сталі. Крім того, необхідно враховувати зміну величини зовнішнього критичного тиску від інтенсивності викривлення при різних значеннях коефіцієнта стінності. В табл. 1 наведено значення зовнішнього критичного тиску залежно від інтенсивності викривлення для обсадних труб діаметром 146 мм виконання А (розрахунки виконано за формулою (11) з використанням формул (10) і (12)).

З табл. 1 видно, що при більших значеннях товщини стінки вплив інтенсивності викривлення на величину зовнішнього критичного тиску прояв-

ляється в більшій мірі. Так, величина зовнішнього критичного тиску зменшується приблизно на 1 % для труб з товщиною стінки $\delta = 6,5$ мм та інтенсивності викривлення $i = 2^0 / 10$ м, а для труб з товщиною стінки $\delta = 10,7$ мм – на таку ж величину при інтенсивності викривлення $i = 1^0 / 10$ м.

Таблиця 1

Значення зовнішнього критичного тиску залежно від інтенсивності викривлення, МПа

Діаметр труб, мм	Товщина стінки, мм	Інтенсивність викривлення, градус/10м					
		0	1	2	3	4	5
146	6,5	18,95	18,95	18,91	18,071	17,133	16,095
	7,0	22,158	22,158	21,859	20,746	19,535	18,229
	7,7	26,623	26,623	25,825	24,328	22,746	21,085
	8,5	31,576	31,576	30,103	28,198	26,228	24,197
	9,5	37,493	37,452	35,145	32,786	30,381	27,932
	10,7	44,263	43,716	40,905	38,059	35,181	32,273

Використавши дані табл. 1, знаходимо коефіцієнти зменшення опірності труб на зім'яття n'_1 внаслідок згину.

В загальному випадку коефіцієнт зменшення опірності труб на зім'яття за рахунок згину визначаємо за формулою

$$n'_1 = \frac{P_{кр(0)}}{P_{кр}}, \quad (21)$$

де $P_{кр}$ - зовнішній критичний тиск для прямолінійних труб, МПа.

За вихідне значення $n'_1 = 1,0$ приймаємо значення зовнішнього критичного тиску для прямолінійних труб. Значення коефіцієнта n'_1 при інтенсивності викривлення 1 градус/10 м визначають, за формулою (21), як відношення величини зовнішнього критичного тиску при інтенсивності викривлення 1 градус/10 м до величини зовнішнього критичного тиску для прямолінійних труб (табл. 1). Наприклад, для труб з товщиною стінки $\delta = 8,5$ мм при інтенсивності викривлення $i = 3^0 / 10$ м

$$n'_1 = \frac{28,198}{31,576} = 0,89.$$

Аналогічно визначають величину коефіцієнта n'_1 при інших значеннях інтенсивності викривлення і коефіцієнта стінності труб. Результати розрахунків наведено в табл. 2.

Для визначення коефіцієнта n'_1 при інтенсивності викривлення, яка знаходиться між значеннями, наведеними в табл. 2, скористасмося методом лінійної інтерполяції, що можна приймати для малих діапазонів. Тоді

$$n'_{1(i)} = n'_{1(i-1)} + \frac{n'_{1(i+1)} - n'_{1(i-1)}}{i_{i+1} - i_{i-1}} \cdot (i_i - i_{i-1}), \quad (22)$$

де $n'_{(i)}$ - коефіцієнт зменшення опору на зім'яття при i -ому значенні інтенсивності викривлення;

$n'_{(i-1)}$ - коефіцієнт зменшення опору на зім'яття при цілому значенні інтенсивності викривлення, меншому за i -те (табл. 2);

$n'_{(i+1)}$ - коефіцієнт зменшення опору на зім'яття при цілому значенні інтенсивності викривлення, більшому за i -те (табл. 2).

Таблиця 2

Коефіцієнти зменшення опору на зім'яття внаслідок згину
для труб діаметром 146мм

Товщина стінки, мм	Коефіцієнт n'_i при інтенсивності викривлення, градус/10м				
	1	2	3	4	5
6,5	1,0	0,99	0,95	0,9	0,85
7,0	1,0	0,99	0,94	0,88	0,82
7,7	1,0	0,97	0,91	0,85	0,79
8,5	1,0	0,95	0,89	0,83	0,77
9,5	0,999	0,94	0,87	0,81	0,74
10,7	0,99	0,92	0,86	0,79	0,73

Значення величини зовнішнього критичного тиску для труб, що встановлюються в інтервалі зміни зенітного кута, перемножують на коефіцієнт зменшення опірності труб на зім'яття внаслідок згину $p_{sp} \cdot n'_i$ і за спорою зовнішнього надлишкового тиску уточнюють глибину спуску труб даної секції. Якщо глибина спуску труб буде знаходитися нижче інтервалу зміни зенітного кута, то підібрані обсадні труби задовольняють умову міцності з врахуванням згину. Якщо ж значення глибини знаходиться в інтервалі зміни зенітного кута або вище інтервалу, то необхідно провести відповідні перерахунки: для попередньої секції підібраних труб знаходять значення критичного тиску з врахуванням згину і за спорою зовнішнього надлишкового тиску уточнюють нижню межу секції труб. Якщо ці труби мають достатню міцність, то їх можна встановити в інтервалі збільшення або зменшення зенітного кута плюс 50 м вище верхньої межі, після чого визначають уточнену вагу секції та сумарну вагу.

Проведений розрахунок обсадної колони на міцність для нафтової свердловини з п'ятиінтервальним профілем показав, що в інтервалах максимальної інтенсивності викривлення (для нашого прикладу, це інтервал 2743–2793 м) необхідно встановлювати обсадні труби вищої міцності. Використавши коефіцієнт зменшення опору труб на зім'яття n'_i внаслідок згину перевіряємо можливість встановлення труб другої секції “8,5Д” (розрахованих згідно з чинною інструкцією) з глибини 2653 м (2793 м по осі), де інтенсивність викривлення становить $i = 4^0 / 10$ м. Розрахунки показали, що труби другої секції не можуть бути встановлені в інтервалі 2840 – 2579 м. В даному інтервалі необхідно встановити міцніші труби, тобто продовжити довжину першої

секції "9,5Д". Невиконання цієї умови може призвести до зім'яття обсадних труб внаслідок зменшення зовнішнього критичного тиску при одночасній дії згинаючого навантаження.

ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій, на підставі результатів теоретичних і експериментальних досліджень, розв'язано актуальну задачу з визначення впливу згину на овальність обсадних труб та на величину зовнішнього критичного тиску, яка спрямована на підвищення надійності кріплення похило-скерованих свердловин обсадними колонами. Одержано наступні основні висновки.

1. Проведено аналіз стану кріплення похило-скерованих свердловин за 1996-2007 роки по БУ «Укрбургаз», на основі якого уточнено класифікацію причин неякісного кріплення похило-скерованих свердловин, за якою їх об'єднано в дві групи:

- фактори, що спричиняють пошкодження обсадних колон у процесі буріння та експлуатації свердловин;

- фактори, що обумовлюють недопуск обсадних колон до проектної глибини та їх зміщення у місці стикування секцій у разі спуску колон частинами.

2. На основі аналізу чинних нормативних документів, якими регламентовано розрахунки обсадних колон на міцність, встановлено, що вплив згинаючих навантажень на опірність труб зім'яттю не враховується, а коефіцієнт запасу міцності рекомендовано збільшувати тільки при розрахунку на розтяг різьбових з'єднань залежно від інтенсивності викривлення свердловини без достатнього об'рунтування.

3. Одержано залежності, які описують вплив кривизни обсадної колони на форму поперечного перерізу труб. Показано, що із збільшенням кривизни свердловини овальність труб збільшується. Наприклад, для 146-мм обсадних труб з початковою овальністю 1 % при інтенсивності викривлення (2÷3) градуси на 10 м, овальність поперечного перерізу обсадних труб збільшується на (0,1÷0,3) %, а при інтенсивності викривлення (6÷7) градусів на 10 м – на (0,6÷0,8) %.

4. Теоретично одержано формули для визначення величини зовнішнього критичного тиску труб з урахуванням інтенсивності викривлення осі свердловини та овальності і різностінності труб. Розрахунками встановлено, що величина зовнішнього критичного тиску труб зменшується із збільшенням інтенсивності викривлення свердловини. Для 146-мм обсадних труб з початковою овальністю 1 % при інтенсивності викривлення (2÷3) градуси на 10 м, величина зовнішнього критичного тиску зменшується на (5÷10) % порівняно з величиною критичного тиску прямолінійних труб, а при інтенсивності викривлення (6÷7) градусів на 10 м – на (20÷25) %.

5. Теоретичними розрахунками встановлено, що із збільшенням коефіцієнта стінності вплив інтенсивності викривлення свердловини на величину зовнішнього критичного тиску труб проявляється більшою мірою. Для 146-мм обсадних труб виконання А величина зовнішнього критичного тиску зменшується приблизно на 1 % для труб з товщиною стінки $\delta = 6,5$ мм та інтенсивності викривлення $i = 2^0/10$ м, а для труб з товщиною стінки $\delta = 10,7$ мм зовнішній тиск знижується на таку ж величину при інтенсивності викривлення $i = 1^0/10$ м.

6. Експериментальними дослідженнями напруженого стану моделей обсадних труб при одночасній дії згинаючого момента і внутрішнього тиску встановлено, що при радіусах кривизни менше 100 м (інтенсивність викривлення $5,7^0/10$ м), осьові розтягуючі напруження внаслідок згину досягають 15 % і більше від межі текучості матеріалу труб. Підтверджено результати теоретичних досліджень, що із збільшенням інтенсивності викривлення осі свердловини овальність труб зростає.

7. На підставі результатів теоретичних і експериментальних досліджень удосконалено методику розрахунку обсадних колон на міцність для кріплення похило-скерованих свердловин, якою передбачено врахування впливу згину труб на їх опірність зовнішньому надлишковому тиску. Вплив згину при розрахунку обсадних колон на зовнішній надлишковий тиск рекомендовано враховувати шляхом уведення поправочного коефіцієнта до величини зовнішнього критичного тиску залежно від інтенсивності викривлення, товщини стінки, діаметра труб і групи міцності сталі.

8. Розроблено рекомендації з підвищення надійності роботи обсадних колон для кріплення похило-скерованих свердловин, що ґрунтуються на удосконаленій методиці їх розрахунку залежно від інтенсивності викривлення свердловини.

Рекомендації прийнято до впровадження при спорудженні нафтових і газових свердловин буровими підприємствами ВАТ «Укрнафта» та БУ «Укрбургаз».

Результати наукових досліджень використовуються у навчальному процесі кафедрою буріння нафтових і газових свердловин ІФНТУНГ при вивченні дисципліни «Закінчування свердловин».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Аналіз методик розрахунку обсадних колон для нафтових і газових свердловин / Я.С. Коцкулич, М.В. Сенюшкович, О.Б. Марцинків [та ін.] // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2003. – № 4 (9). – С. 6-9.

2. Коцкулич Я.С. Аналіз методів з визначення сил опору при спуску обсадної колони в похило-скеровані і горизонтальні свердловини / Я.С. Коцкулич, О.Б. Марцинків, І.І. Витвицький // «Розвиток наукових досліджень 2009»: Матеріали п'ятої міжнародної науково – практичної конференції,

м. Полтава, 23-25 листопада 2009 р. – Полтава: “ІнтерГрафіка”, 2009. – Т. 8. – С. 49-52.

3. Коцкулич Я.С. Визначення величини зовнішнього критичного тиску для обсадних труб із врахуванням згину / Я.С. Коцкулич, О.М. Лев, О.Б. Марцинків // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2003. – № 2(7). – С. 84-88.

4. Коцкулич Я.С. Експериментальні дослідження напруженого стану обсадних труб при згині / Я.С. Коцкулич, О.М. Лев, О.Б. Марцинків // Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, НДІ НГТ. – 2002. – С.6.

5. Коцкулич Я.С. Дослідження зміни напруженого стану обсадних труб при згині / Я.С. Коцкулич, О.М. Лев, О.Б. Марцинків // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2009. – № 4(33). – С. 45-49.

6. Марцинків О.Б. Причини неякісного кріплення похило-направлених свердловин на прикладі Хрестиненського ВБР / О.Б. Марцинків // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 1999. – № 36. – С. 85-95.

7. Мочернюк Д.Ю. Аналіз напруженого стану матеріалу гірських порід навколо отвору горизонтально розташованої ділянки свердловини / Д.Ю. Мочернюк, Б.М. Малярчук, О.Б. Марцинків // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2001. – № 38 (том 2). – С. 54-61.

8. Марцинків О.Б. До розрахунку обсадних колон для кріплення похило-направлених свердловин / О.Б. Марцинків // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 1994. – № 31. – С. 40-44.

9. Марцинків О.Б. До розрахунку обсадних колон для кріплення похило-направлених свердловин / О.Б. Марцинків // Тези доповідей і повідомлень науково-практичної конференції «Стан, проблеми і перспективи розвитку нафтогазового комплексу Західного регіону України», 28-30 березня 1995 р. – Львів: УНГА, 1995. – С. 153.

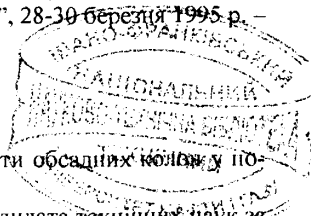
АНОТАЦІЯ

Марцинків О.Б. Підвищення надійності роботи обсадних колон у похило-скерованих свердловинах. – 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 надійності роботи обсадних колон у похило-скерованих свердловинах завдяки врахуванню впливу згину на овальність обсадних труб та на величину зовнішнього критичного тиску.

Проаналізовано чинники, що впливають на надійність роботи обсадних колон при кріпленні похило-скерованих свердловин, та виконано огляд методів розв'язання зазначеної проблеми. Уточнено класифікацію причин неякісного кріплення похило-скерованих свердловин.



Проведено теоретичні дослідження впливу згину обсадної колони на овальність і міцність обсадних труб при дії зовнішнього надлишкового тиску. Для оцінки напруженого стану обсадних труб і форми їх поперечного перерізу при згині виконано експериментальні дослідження, якими підтверджено результати теоретичних досліджень впливу згину труб на форму їх поперечного перерізу і необхідність удосконалення методики розрахунку обсадних колон для кріплення похило-скерованих свердловин.

Удосконалено методику розрахунку обсадних колон на міцність при кріпленні похило-скерованих свердловин шляхом уведення поправочного коефіцієнта до величини зовнішнього критичного тиску залежно від інтенсивності викривлення, товщини стінки, діаметра труб і групи міцності сталі.

Розроблено рекомендації з підвищення надійності роботи обсадних колон для кріплення похило-скерованих свердловин, що ґрунтуються на удосконаленій методиці їх розрахунку залежно від інтенсивності викривлення свердловини.

Ключові слова: кріплення, похило-скерована свердловина, обсадна колона, зовнішній тиск, згин, овальність, деформація, напруження.

АННОТАЦИЯ

Марцынків О.Б. Повышение надежности работы обсадных колонн в наклонно-направленных скважинах. - 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 надежности работы обсадных колонн в наклонно-направленных скважинах благодаря учету влияния изгиба на овальность обсадных труб и их сопротивляемость наружному избыточному давлению.

Проанализированы факторы, влияющие на надежность работы обсадных колонн при креплении наклонно-направленных скважин и сделан обзор методов решения указанной проблемы. Усовершенствована классификация причин некачественного крепления наклонно-направленных скважин, согласно которой они объединены в две группы:

- факторы, приводящие к повреждению обсадных колонн;
- факторы, обуславливающие недопуск обсадных колонн до проектной глубины и их смещение в месте стыковки секций.

Проведены теоретические исследования влияния изгиба обсадной колонны на овальность и прочность обсадных труб при действии наружного избыточного давления. Показано, что с увеличением кривизны обсадной колонны овальность поперечного сечения труб увеличивается. Например, для 146-мм обсадных труб с начальной овальностью 1 % при интенсивности искривления (2+3) градуса на 10 м, овальность поперечного сечения обсадных

труб увеличивается на $(0,1\div 0,3)$ %, а при интенсивности искривления $(6\div 7)$ градусов на 10 м – на $(0,6\div 0,8)$ %. Расчетами установлено, что величина наружного критического давления уменьшается с увеличением интенсивности искривления скважины. Для 146-мм обсадных труб с начальной овальностью 1 % при интенсивности искривления $(2\div 3)$ градуса на 10 м, величина наружного критического давления уменьшается на $(5\div 10)$ % по сравнению с величиной критического давления прямолинейных труб, а при интенсивности искривления $(6\div 7)$ градусов на 10 м – на $(20\div 25)$ %.

Для оценки напряженного состояния обсадных труб и формы их поперечного сечения при изгибе выполнены экспериментальные исследования, которыми подтверждены результаты теоретических исследований влияния изгиба труб на форму их поперечного сечения и необходимость усовершенствования методики расчета обсадных колонн для крепления наклонно-направленных скважин.

Усовершенствована методика расчета обсадных колонн на прочность при креплении наклонно-направленных скважин путем введения в расчетные зависимости величины допустимого наружного давления, коэффициента снижения сопротивляемости смятию.

Разработаны рекомендации по повышению надежности работы обсадных колонн для крепления наклонно-направленных скважин, основанные на усовершенствованной методике их расчета в зависимости от интенсивности искривления скважины.

Результаты научных исследований используются в учебном процессе кафедрой бурения нефтяных и газовых скважин ИФНТУНГ при изучении курса «Заканчивание скважин».

Ключевые слова: крепление, наклонно-направленная скважина, обсадная колонна, внешнее давление, изгиб, овальность, деформация, напряжение.

ABSTRACT

Martsynkiv O.B. Enhancement of operation reliability of casings in directional wells. – Manuscript.

Thesis on gaining of scientific degree of the candidate of technical sciences according to the major 05.15.06 – Development of Oil and Gas Fields. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2010.

Thesis is devoted to the enhancement of operation reliability of casings in directional wells by taking into consideration the curve influence on the out-of-roundness of casing pipes and on the magnitude of ambient critical pressure.

The factors have been analyzed that influence on the operation reliability of casing strings during the fixing process of directional wells. There have been observed the methods for solution of the above-mentioned problem. The classification of reasons of low quality casing of directional wells has been specified.

Theoretical investigations have been conducted to analyze the influence of casing string curve on the out-of-roundness and durability of casing pipes under the influence of ambient excess pressure. To evaluate the stress state of casing pipes and forms of their cross sections at curve, experimental research has been conducted. The latter has confirmed the results of theoretical investigations devoted to the influence of pipes' curve on form of their cross sections and necessity to specify the calculation methods of casing strings for fixing of directional wells.

The methods have been improved for the calculation of casing as to their reliability during lining of directional wells by the introduction of correction coefficient to the value of external critical pressure depending on the intensity of curve, wall thickness, diameter of pipes and group of steel strength

The recommendations have been developed for the enhancement of operation reliability of casing strings to fix directional wells, which are based on the improved methods of their calculation depending on the degree of well crookedness.

Key words: fixing, directional well, casing string, ambient pressure, curve, out-of-roundness, deformation, stress.