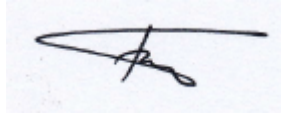


**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

Тирлич Володимир Васильович



УДК 622.24.053:620.191.33

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗАВАРІЙНОЇ РОБОТИ БУРИЛЬНИХ
ТРУБ З ВИЯВЛЕНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ
ДЕФЕКТАМИ**

Спеціальність 05.05.12 – машини нафтової та газової промисловості

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2019

Дисертацією є рукопис.

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

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

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Харченко Євген Валентинович,
Національний університет
«Львівська політехніка»,
завідувач кафедри опору матеріалів та
будівельної механіки;

кандидат технічних наук
Кузьмін Олександр Олексійович,
ПАТ “Укрнафта”, НГВУ “Долинанافتогаз”,
м. Долина,
начальник сектору диспетчеризації

Захист відбудеться 24 вересня 2019 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий ”15” серпня 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д 20.052.04,
к.т.н., доцент



Л. Д. Пилипів

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Стратегічні напрямки досягнення енергетичної безпеки України вимагають підвищення ефективності, рентабельності та покращення якості бурових робіт. Зазначена проблема охоплює питання збільшення швидкісних показників буріння та забезпечення надійної експлуатації бурильного інструменту.

Як свідчить практика буріння нафтових та газових свердловин, найпоширенішими причинами відмов елементів бурильної колони є втомні та корозійно-втомні пошкодження. На механізм їх виникнення впливають властивості матеріалу, корозійна активність бурового розчину, сукупність інших силових та експлуатаційних чинників. Зауважимо, що на великих глибинах руйнування труб визначається домінуючим впливом відповідних силових факторів (величиною, напрямом та характером експлуатаційних навантажень, що виникають у процесі буріння свердловин та під час спуско-підймальних операцій (СПО)), які зумовлюють зародження та розвиток у місцях пошкоджень тріщин у поперечному перерізі тіла труби. Проте не всі тріщини становлять небезпеку, з точки зору можливої раптової поломки, тож труба може працювати з незначним дефектом протягом тривалого часу - аж до досягнення критичного стану. Тому актуальним науково-прикладним завданням є проведення комплексу експериментальних та теоретичних досліджень, спрямованих на розробку нових та удосконалення існуючих методів оцінки напружено-деформованого стану елементів бурильної колони. На їх основі можна дати оцінку ресурсу труб, як нових, так і з експлуатаційними дефектами у вигляді втомних тріщин.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами Дисертаційна робота має науково-прикладний характер і виконувалась у відповідності до програм науково-дослідних робіт: “Наукові основи створення та раціональної експлуатації нафтогазового обладнання та інструменту“ (номер державної реєстрації - 01984005778), що входила до координаційного плану Міністерства освіти та науки України “Наукові основи розробки нових технологій видобутку нафти та газу з метою отримання високоякісних моторних палив, мастильних матеріалів, допоміжних продуктів і нафтохімічної сировини“ та “Науково-організаційні засади нарощування видобутку вітчизняних нафти і газу та диверсифікації постачання енергетичних ресурсів для підвищення енергетичної безпеки України“ (номер державної реєстрації - 0115U007099).

Мета і завдання дослідження Метою дисертаційної роботи є оцінка впливу експлуатаційних навантажень на напружено-деформований стан та умови руйнування бурильних труб із виявленими дефектами.

Досягнення поставленої мети вимагає вирішення наступних завдань:

- аналіз сучасного стану аварійності з елементами бурильної колони на дочірних підприємствах бурового управління “Укрбургаз” (БУ “Укрбургаз”), методик та обладнання для дослідження напружено-деформованого стану елементів бурильної колони;
- експериментальне визначення характеристик тріщиностійкості матеріалу бурильних труб;

- дослідження впливу параметрів віброзахисних пристроїв (ВЗП) та режимів роботи бурильної колони на розвиток втомних тріщин та довговічність бурильних труб;
- оцінка впливу динамічних навантажень на умови руйнування труб.

Об’єкт дослідження – напружено-деформований стан і процес накопичення втомних пошкоджень у бурильних трубах.

Предмет дослідження – методи аналізу напружено-деформованого стану і оцінки втомного пошкодження елементів бурильної колони на стадії їх проектування та експлуатації.

Методи дослідження. Дослідження проводились за допомогою комплексного методу, що полягає у поєднанні математичного та комп’ютерного моделювання об’єкта досліджень з експериментальним підтвердженням адекватності отриманих результатів на діючому обладнанні та лабораторних установках. Зокрема:

- аналіз напружено-деформованого стану (НДС) та довговічності бурильних труб здійснено на основі математичних моделей, що базуються на теорії диференціальних рівнянь та механіки руйнування матеріалів;
- для дослідження тріщиностійкості сталей бурильних труб та їхніх характеристик опору руйнуванню застосовано методи експериментальної механіки руйнування.

Положення, що виносяться на захист:

- методологія та результати експериментально-розрахункових досліджень напружено-деформованого стану бурильних труб для забезпечення їх безаварійної роботи;
- методологія та результати аналітично-чисельних досліджень кінетики поширення тріщиноподібних дефектів під дією експлуатаційних чинників у стінках бурильних труб та зроблені на цій основі висновки щодо роботоздатності останніх.

Наукова новизна отриманих результатів

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень:

- вперше шляхом розроблення математичних моделей поздовжніх та поздовжньо-крутильних коливань бурильних труб із виявленими експлуатаційними дефектами оцінено внесок динамічних складових навантажень у коефіцієнт інтенсивності напружень;
- оцінено вплив динамічних навантажень та тривалість експлуатації труб на умови їх руйнування;
- вперше досліджено вплив параметрів віброзахисних пристроїв на довговічність бурильних труб;
- уточнено критерії оцінювання безпечної експлуатації та залишкової довговічності труб з експлуатаційними дефектами.

Практичне значення одержаних результатів

- адаптовано методику та експериментальні засоби для визначення критичних та характеристичних розмірів типових експлуатаційних дефектів, а також тріщиностійкості металу бурильних труб за умови дії осьового навантаження під

час буріння та проведення СПО;

– розроблено ”Методику експрес-оцінювання умов руйнування експлуатованих бурильних труб“, яку передано для впровадження в БУ ” Укрбургаз ”;

– результати теоретичних і експериментальних досліджень впроваджено у навчальний процес кафедри нафтогазових машин та обладнання Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення та результати, які становлять суть дисертації, отримані автором самостійно. У публікаціях написаних у співавторстві, здобувачеві належать: розроблення математичної моделі бурильної колони з тріщиною при поздовжніх коливаннях [1], дослідження з визначення коефіцієнта інтенсивності напружень [2]; дослідження напружено-деформованого стану бурильних труб на основі чисельного моделювання [3]; розроблення математичної моделі бурильної колони з тріщиною [4]; оцінка впливу параметрів віброзахисних пристроїв на поширення тріщини в тілі труби [5]; постановка задач та реалізація розрахункових оцінок розвитку тріщини в тілі труби [6, 8]; постановка задач та чисельна реалізація розрахункових оцінок експерименту [9, 10]; оцінка впливу параметрів віброзахисного пристрою на динаміку колони бурильних труб з тріщиною [11]; обробка результатів експерименту [18].

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідались та обговорювались на: науково-практичній конференції "Стан, проблеми і перспективи розвитку нафтогазового комплексу Західного регіону України" (м. Львів, 1995); науково-практичній конференції "Нафта і газ України-96" (м. Харків, 1996); науково-технічній конференції "Механіка і нові технології" (м. Севастополь, 1995); XVI міжнародній міжвузівській школі-семінарі "Методи та засоби технічної діагностики" (м. Івано-Франківськ, 1999); Міжнародних конференціях університету м. Бая-Маре (м. Бая-Маре, 2004 та 2006); Першій міжнародній науково-технічній конференції ”Нафтогазова енергетика – 2011” (м. Івано-Франківськ, 2011); Першій та Другій всеукраїнських наукових конференціях ”Прикладні задачі математики” (м. Яремче, 2011, м. Івано-Франківськ, 2016), Четвертій міжнародній науково-технічній конференції ”Нафтогазова енергетика – 2015” (м. Івано-Франківськ, 2015), Шостій міжнародній науково-технічній конференції ”Нафтогазова енергетика – 2017” (м. Івано-Франківськ 2017), Міжнародній науково-технічній конференції ”Нафтогазова освіта і наука: стан та перспективи” (м. Івано-Франківськ, 2014), Сьомій міжнародній науково-технічній конференції ”Нафтогазова енергетика – 2019” (м. Івано-Франківськ, 2019).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 18 друкованих праць, з них 8 статей – у фахових виданнях України, 2 статті – у зарубіжних фахових виданнях та 8 тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 130 найменувань на 12 сторінках, а також 4 додатків на 22 сторінках. Робота містить 53 рисунка та 23 таблиці. Основний зміст дисертації викладено на 142 сторінках. Загальний обсяг

дисертації становить 179 сторінок.

Автор висловлює щире подяку науковому керівнику д. т. н., професору В. М. Мойсишину та д. т. н., професору В. І. Векерику за консультування, плідне співробітництво під час проведення досліджень та обговорення результатів роботи; д. т. н., професору Р.С. Грабовському за допомогу під час проведення експериментальних випробувань та обробки їх результатів; академіку НАН України, д. т. н., професору Є. І. Крижанівському за фахові консультації та підтримку у ході виконання роботи.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної теми, сформульовано мету роботи, задачі та методи досліджень, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію та особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** досліджено сучасний стан проблеми забезпечення без аварійної роботи бурильних труб з експлуатаційними дефектами.

Проведений огляд літературних джерел та аналіз аварій з бурильними колонами в буровому управлінні "Укрбургаз" за період 2015 - 2017 рр. підтвердив, що найпоширенішими причинами відмов елементів бурильної колони є втомні та корозійно-втомні пошкодження, що виникають внаслідок дії різноманітних детермінованих та випадкових навантажень.

Аналіз промислового матеріалу свідчить, що окремі тріщини не становлять небезпеки, з точки зору можливої раптової поломки, тож труба з таким дефектом певний час може залишатися в експлуатації. Тому для попередження аварій з бурильною колоною необхідно знати закономірності виникнення і розвитку втомних тріщин (момент зародження, напрямок, форма та швидкість поширення та критичні параметри).

Дослідження показали, що для адекватного визначення напружено-деформованого стану бурильної колони необхідно провести дослідження виникаючих у ній динамічних явищ та одержати достовірну динамічну модель процесу буріння. Результати таких досліджень дозволять визначати надійність елементів бурового обладнання, підібрати раціональне компонування бурильної колони, оцінити ефективність роботи віброзахисних елементів, знизити ймовірність серйозних ускладнень чи аварій при бурінні.

Для забезпечення надійної та ефективної роботи бурильної колони необхідно удосконалити методику прогнозування її довговічності та провести детальнішу оцінку навантаженості бурильної колони.

Другий розділ присвячено методології експериментальних досліджень з використанням експериментальних засобів, які ґрунтуються на підходах механіки руйнування матеріалів та адаптовані до мети і завдань роботи.

Усі експерименти, пов'язані з вивченням умов руйнування, проведені на призматичних зразках, розмірами $10 \text{ мм} \times t \times 150 \text{ мм}$, де t – товщина труби (рис.1).

Зразки вирізані із фрагментів бурильних труб зі сталі груп міцності G-105 та S-135, які були відбраковані з причини руйнування у ході експлуатації на

площах Скоробагатьківського нафтогазоконденсатного родовища (НГКР) та Єфремівського газоконденсатного родовища (ГКР) у 2016 році, а також з фрагменту нової вітчизняної бурильної труби групи міцності Л.

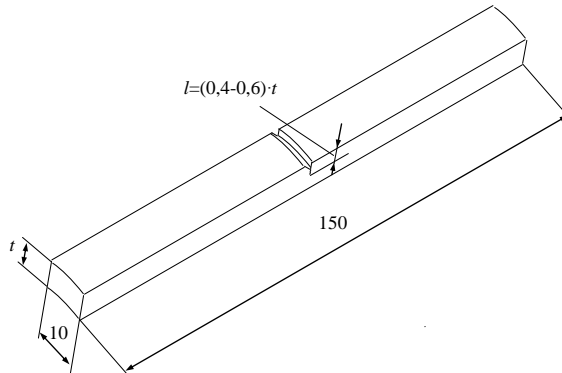


Рисунок 1 – Загальний вигляд зразка

Початок поширення тріщини у стінці бурильної труби оцінювали за енергетичним критерієм руйнування, згідно з яким початок руйнування труби настає за умови, коли кількість виділеної енергії J_* досягає критичної величини J_c , тобто

$$J_* = J_c. \quad (1)$$

Величину критичної тріщиностійкості J_c досліджували за відомою методикою визначення тріщиностійкості матеріалів при триточковому згині балкових зразків із прямокутним перерізом, використовуючи експериментально одержану діаграму руйнування зразків “зусилля – зсув”.

За результатами експериментальних досліджень, записуючи діаграму руйнування, визначали величину максимального навантаження P , при якому починається нестабільний розвиток тріщини. Після завершення експерименту заміряли поверхню зламу (руйнування) зразка та визначали її площу F .

Критичні значення J -інтегралу (J_c) оцінювали у момент старту тріщини. Значення J_c обчислювали за формулою

$$J_c = \frac{A}{F}, \quad (2)$$

де A – робота зовнішньої сили, що відповідає пластичній частині площі під діаграмою “навантаження – зсув”, обмеженою точкою розвантаження;

F – площа зламу поверхні деформування (руйнування) зразка.

Величину критичного коефіцієнта інтенсивності напружень K_{Jc} визначали за залежністю

$$K_{Jc} = \sqrt{\frac{J_c \cdot E}{(1 - \mu^2)}}, \quad (3)$$

де J_c – критична тріщиностійкість; E – модуль Юнга ($E = 10^{11}$ Па); μ –

коефіцієнт Пуассона (для низьколегованих сталей $\mu = 0,3$).

В основу методики оцінювання умов руйнування бурильних труб із наявними експлуатаційними тріщиноподібними дефектами покладено порівняння експериментально одержаних значень критичних коефіцієнтів інтенсивності напружень K_{J_c} із одержаними розрахунковим шляхом значень коефіцієнтів інтенсивності напружень K_I для навантажених осьовим зусиллям пустотілих циліндрів (труб), що містять типові тріщиноподібні дефекти.

Критичну (a_c/t) для розглядуваних випадків глибину дефекту (тріщини) в бурильній трубі, тобто умову, за якої настає її руйнування, визначали прирівнюючи розраховані значення коефіцієнтів інтенсивності напружень K_I з експериментально одержаними значеннями критичних коефіцієнтів інтенсивності напружень K_{J_c} .

Крім того, для розглядуваних випадків визначали показник “опірності елемента конструкції поширенню тріщини”, який є характеристикою швидкості зміни коефіцієнта інтенсивності напружень K_I біля вершини тріщини довжиною a під час її розвитку у глибину стінки труби.

Для цих випадків будували відповідні безрозмірні залежності типу

$$\frac{\sqrt{t}}{\sigma} \frac{dK_I}{da} = F\left(\frac{a}{t}\right), \quad (4)$$

де σ – прикладене зовнішнє навантаження; t – товщина бурильної труби у місці руйнування.

Використовуючи безрозмірну залежність типу (4), визначали характеристичну глибину корозійно-механічної тріщини $(a/t)^*$ у бурильній трубі (рис. 2). Поточні значення $dK_I/da = F(a/t)$ підраховували з кроком $a/t = 0,01$ та визначали три точки, в околі яких виконувались умови

$$\begin{aligned} (dK_I/da)_{i+1} - (dK_I/da)_i &= 0,01 \rightarrow (a/t)_1; \\ (dK_I/da)_{i+1} - (dK_I/da)_i &= 0,10 \rightarrow (a/t)_2; \\ (dK_I/da)_{i+1} - (dK_I/da)_i &= 1,00 \rightarrow (a/t)_3. \end{aligned}$$

За аргументами цих точок визначали координати точок L $(0,5 \cdot [(a/t)_1 + (a/t)_2], (dK/da)_L)$ та M $(0,5 \cdot [(a/t)_2 + (a/t)_3], (dK/da)_M)$, у яких будували дотичні до кривих, що є графіками залежності (4). Аргумент точки перетину цих дотичних приймали за значення глибини критичного дефекту $(a/t)^*$, при якому різко зростає швидкість зміни (dK_I/da) коефіцієнта інтенсивності напружень K_I .

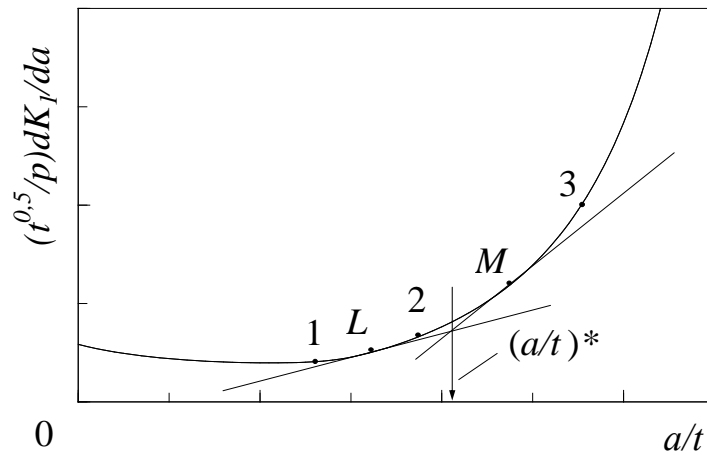


Рисунок 2 – Загальна схема визначення характеристичної глибини тріщиноподібного дефекту

Це значення глибини дефекту приймали за характеристичне для оцінювання умов руйнування, а також міцності та надійності елементів бурильних труб з тріщиноподібними дефектами.

Третій розділ роботи присвячено оцінюванню механічних характеристик та тріщиностійкості матеріалу бурильних труб.

Механічні характеристики сталей бурильних труб груп міцності L, G-105 та S-135, що були відбраковані в результаті аварій і відпрацювали до зламу різну кількість годин, визначали за відомою стандартизованою методикою шляхом випробувань на розтяг гладких циліндричних зразків діаметром 5 мм та довжиною робочої частини 25 мм.

Характеристики опору руйнуванню металу бурильних труб розглядуваних груп міцності визначались за процедурою, описаною в другому розділі. Для їх визначення використовували зразки з фрагментів досліджуваних бурильних труб, вирізані біля місць руйнування (рис. 3).

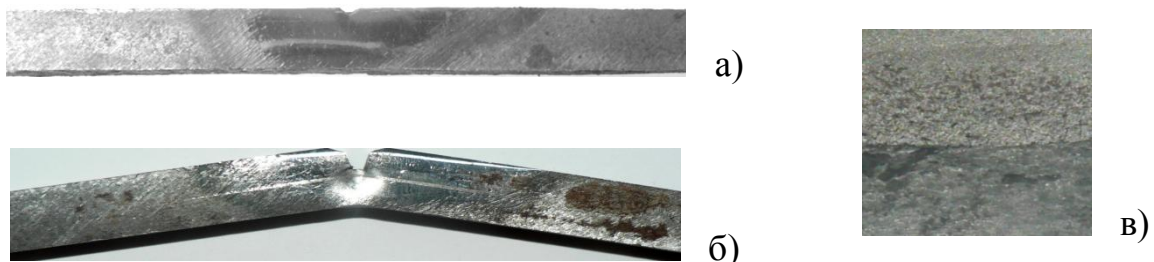


Рисунок 3 – Загальний вигляд зразка до (а) і після (б) випробування та площі його деформованої поверхні (в) після експерименту з дослідження умов руйнування

Зразки з попередньо утвореною втомною тріщиною довжиною близько 50% висоти зразка встановлювали на опори універсальної машини для статичних випробувань Р-20 і навантажували за схемою триточкового згину із

постійною швидкістю 1 мм/хв.

Для вказаних груп сталей будували діаграми деформування “ $P-V$ ” (рис. 4), за якими, згідно з методикою описаною в розділі 2, визначали роботу зовнішньої сили A та площу зламу F поверхні деформування зразка. Далі за формулами (2) і (3) визначали критичну тріщиностійкість J_c та критичний коефіцієнт інтенсивності напружень K_{Ic} (табл.1).

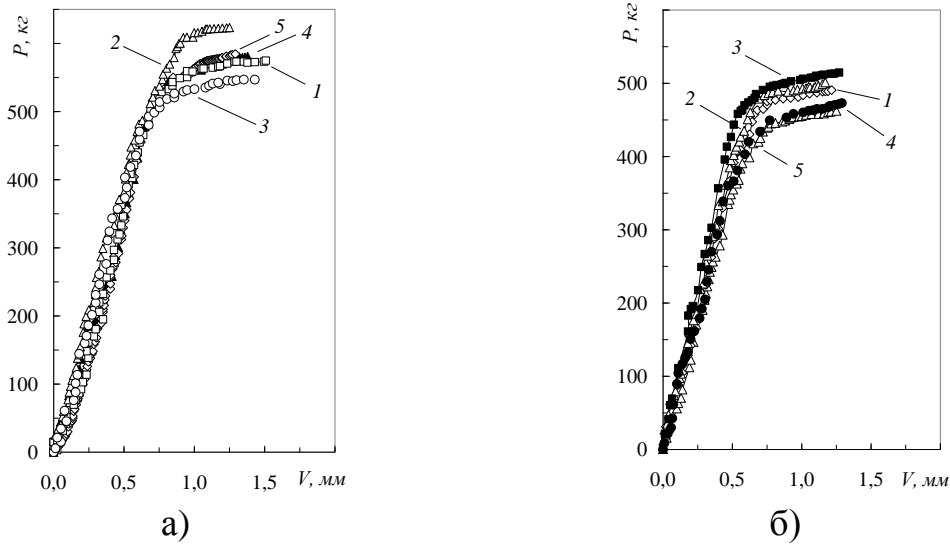


Рисунок 4 – Діаграми деформування “зусилля - зсув” зразків 1 - 5 бурильної труби груп міцності S-135 (а) та G-105(б)

Таблиця 1 – Характеристики міцності та тріщиностійкості металів бурильних труб

Тривалість експлуатації, год/роки	Група міцності БТ	Границя міцності, МПа	Границя плинності, МПа	J_c^{sep} , кДж/м ²	K_{Ic}^{sep} , МПа $\sqrt{м}$
0 / 0	Л	623,5	545,4	92,81	142,82
* / 23	Л	790,0	605,0	44,59	99,0
8622 / 4	G-105	925,0	839,0	84,70	136,44
13800 / 9	G-105	933,0	857,0	72,82	126,51
23800 / 9	S-135	1103,9	993,2	113,20	157,73

Примітка: 1. * – означає відсутність даних.

Дані табл.1 свідчать, що тріщиностійкість J_c металу бурильної труби групи міцності S-135 у 1,55 рази більша за тріщиностійкість металу бурильної труби групи міцності G-105, а критичний коефіцієнт інтенсивності напружень

K_{jc} – відповідно більший у 1,25 раз. Це пояснює той факт, що термін експлуатації бурильної труби групи міцності S-135 до зламу виявився у 1,72 рази більшим, ніж бурильної труби групи міцності G-105.

Четвертий розділ роботи присвячено моделюванню роботи бурильної колони під час її експлуатації за наявності пошкоджень у тілі труби.

Розглядали бурильну колону, яка складається з двох секцій, що характеризуються відповідними фізичними та геометричними характеристиками, і може включати віброзахисний пристрій (ВЗП). Припускається, що у деякому перерізі бурильної колони виявлено тріщину напівеліптичної форми, яка знаходиться в площині, перпендикулярній до діючого навантаження, а напружено-деформований стан (НДС) вздовж фронту тріщини описується коефіцієнтом інтенсивності навантажень (КІН).

Задачу розв'язували методом скінченних елементів (МСЕ). Для цього колону бурильних труб у положенні рівноваги розбивали на скінченні елементи. Вибирали дві системи координат: загальну, пов'язану з бурильною колоною, та місцеву, зв'язану з конкретним скінченним елементом.

Рівняння руху складали, використовуючи рівняння Лагранжа другого роду

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{u}_i} \right) + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{u}_i} + \frac{\partial U}{\partial u_i} = R_i(t), \quad (5)$$

де $i = 1, 2, \dots, n$ число ступенів вільності, що відповідає числу вузлів; T – кінетична енергія системи; U – потенціальна енергія системи; Φ – дисипативна функція Релея; $R_i(t)$ – узагальнені сили; u_i – переміщення вузлів.

Рівняння (5) після необхідних перетворень записуємо у матричному вигляді

$$[M] \cdot \ddot{z} + [K] \cdot \dot{z} + [C] \cdot z = R_i(t), \quad (6)$$

де C - матриця жорсткості; M - матриця мас; K - матриця демпфування; $R_i(t)$ - вектор вузлових зусиль, які знаходимо за стандартною процедурою методу скінченних елементів.

В розбитті включаються скінченні елементи, що описують віброзахисний пристрій та тріщину. Матриці жорсткості для них відрізняються від інших та мають відповідно вигляд

$$[C_{ae}] = \begin{bmatrix} k_a & -k_a \\ -k_a & k_a \end{bmatrix},$$

$$[C_{de}] = \begin{bmatrix} \frac{E \cdot A}{L} \cdot (1 - \delta \cdot (x - x_p)) \cdot \sigma_d & -\frac{E \cdot A}{L} \cdot (1 - \delta \cdot (x - x_p)) \cdot \sigma_d \\ -\frac{E \cdot A}{L} \cdot (1 - \delta \cdot (x - x_p)) \cdot \sigma_d & \frac{E \cdot A}{L} \cdot (1 - \delta \cdot (x - x_p)) \cdot \sigma_d \end{bmatrix},$$

де k_a – жорсткість ВЗП; E – модуль Юнга; A – площ поперечного перерізу труби; L – довжина скінченного елемента; $\delta = \delta(x)$ – дельта функція Дірака;

$\sigma_d = \frac{A - A_0}{A}$ – ступінь пошкодження поперечного перерізу труби; x_p – координата пошкодженого перерізу; A_0 – площа тріщини.

Підставивши знайдені матриці та вектори в рівняння (6), одержимо систему рівнянь, котра описує рух бурильної колони з тріщиною у вертикальній свердловині при поздовжніх коливаннях.

Для аналізу роботи даної моделі при зміні характеристик бурової механічної системи та ВЗП проводили розрахунки в середовищі Mathcad. Систему рівнянь (6) розв'язували методом Ньюмарка. Для цього було використано значення параметрів $\gamma = \frac{1}{2}$ і $\beta = \frac{1}{4}$, при яких одержується найкраща збіжність та стійкість розв'язку. Отримане поле вузлових переміщень дає можливість визначити напружений стан бурильної колони та реакцію системи на періодичну дію сили з кутовою частотою ω_j .

Для дослідження напружено-деформованого стану (НДС) в околі фронту тріщини умовно вирізали частину труби з тріщиною завдовжки не менше

$$2H = 2,5 \cdot \sqrt{R_m \cdot t} + 6 \cdot l, \quad (7)$$

де R_m , t – відповідно середній радіус та товщина труби; l – довжини тріщини.

До торців вирізаної частини труби прикладали поле переміщень, одержане на попередньому етапі. Після цього будували геометричну модель фрагмента труби і визначали його НДС. Було розглянуто послідовність скінченно-елементних моделей труби, які відрізнялись одна від одної тільки розмірами тріщини. За допомогою серії розрахунків визначали напружено-деформований стан моделей при дії прикладених навантажень. Зокрема, для фрагмента труби з глибиною тріщини 5 мм на рис. 5 подано розподіл еквівалентних напружень

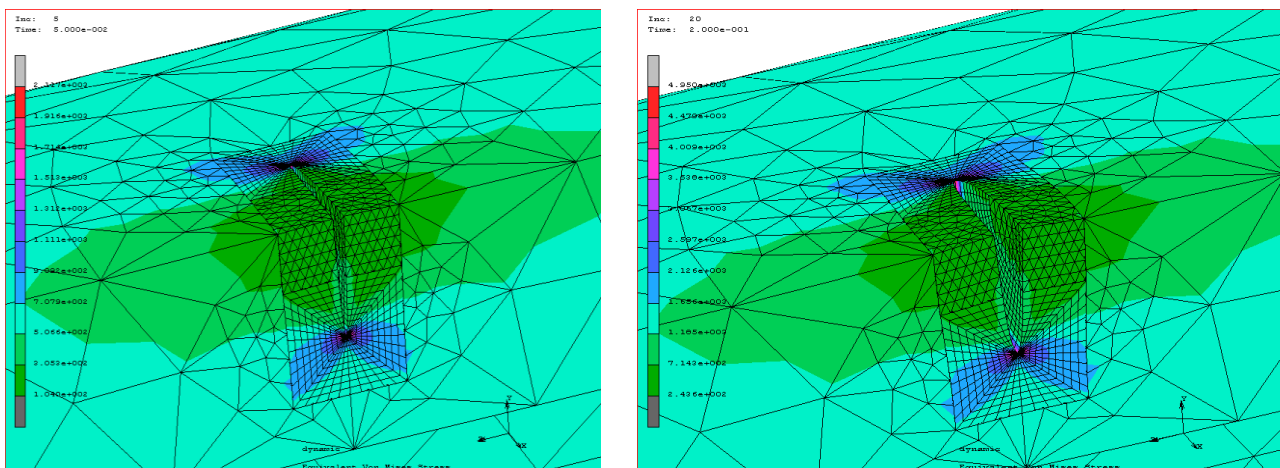


Рисунок 5 – Напружено-деформований стан в околі фронту тріщини, що відповідає глибині тріщини 5 мм

Мізеса вздовж фронту тріщини при різних значеннях часового проміжку: $t = 5$ с та $t = 20$ с. Аналізуючи отримані зображення, можна зауважити характерну пластичну зону у вершині тріщини як по тілу, так і по поверхні труби. Це

свідчить, що у випадку руйнування його характер буде квазікрихким. Також можна спостерігати, що тріщина “дихає”, тобто ступінь розкриття тріщини не є постійним.

Поступово збільшуючи навантаження, задовольняючи при цьому граничні умови для кожного кроку, визначали параметри напружено-деформованого стану та обчислювали **J**-інтеграл. Методом апроксимацій **J**-інтеграла з урахуванням сформульованих припущень обчислювали максимальні значення коефіцієнтів інтенсивності напружень K_1 вздовж фронту тріщини за формулою

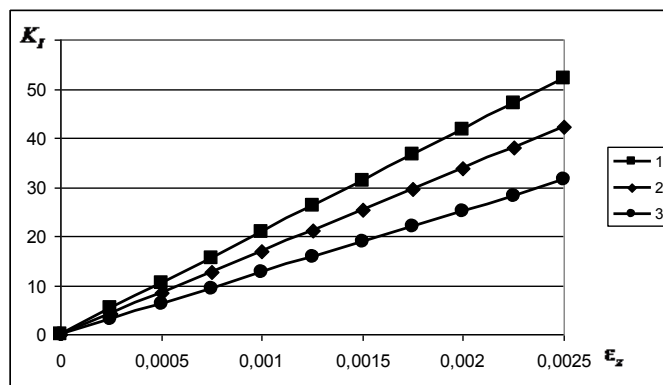
$$K_1 = \sqrt{\frac{J \cdot E}{(1 - \mu^2)}}$$

де E – модуль Юнга; μ – коефіцієнт Пуассона.

На основі чисельного моделювання одержували величини КІН, які залежать від багатьох технічних та технологічних факторів, що впливають на НДС вздовж фронту тріщини.

На рис. 6 подано графіки залежності коефіцієнта інтенсивності напружень від відносного видовження для тріщин різних розмірів – від глибини

видовження для розмірів, а на рис.7



1 – $l = 3\text{ мм}$, $a = 3,5\text{ мм}$; 2 – $l = 5\text{ мм}$, $a = 5,9\text{ мм}$; 3 – $l = 7\text{ мм}$, $a = 8,3\text{ мм}$

Рисунок 6 – Залежності КІН від відносного видовження для різних розмірів тріщини

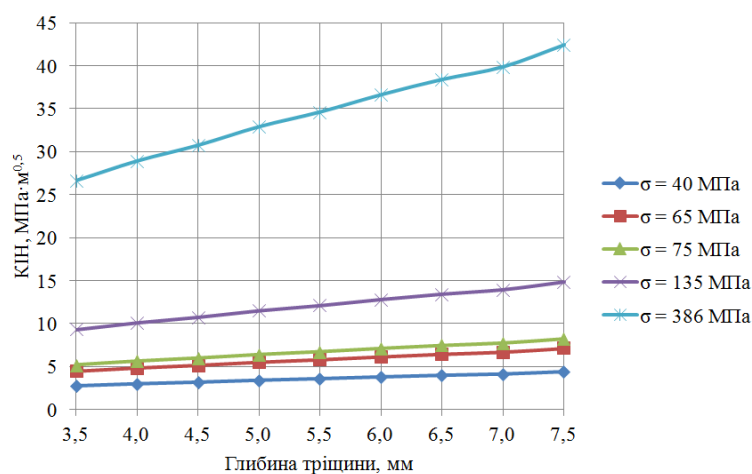


Рисунок 7 – Залежність КІН від глибини тріщини при різних значеннях напружень

тріщини за різних напружень, що діють у розглядуваному перерізі та залежать як від режимних параметрів буріння, так і від жорсткості й демпфування ВЗП.

Проаналізувавши одержані результати та порівнявши їх з промисловими дослідженнями та лабораторними випробуваннями, можна зробити такі висновки:

- внесок динамічної складової в загальний КІН коливається в межах від 10% до 25% і залежить від умов роботи колони;
- використання в компонованні ВЗП веде до зниження напружень у заданому поперечному перерізі до 8-15 %, що позитивно впливає на роботу бурильної колони;
- змінюючи жорсткість ВЗП можна сповільнити поширення втомної тріщини, тобто привести її до стабільного стану, продовживши термін експлуатації труби в даному компонованні за умови правильного вибору режимів роботи та місця встановлення ВЗП;
- можна підібрати параметри ВЗП так, щоб тріщина поширювалась у поздовжньому, а не поперечному напрямку труби, що збільшить коефіцієнт запасу міцності.

У п'ятому розділі наведено результати з оцінки впливу навантажень на умови руйнування бурильних труб, що містять експлуатаційні дефекти, під час проведення спуско-підіймальних операцій.

Розглянуто двомасову модель для обчислення завантаженості бурильної колони при проведенні спуско-підіймальних операцій. Увага зосереджувалась на етапі підйманні колони та етапі гальмування при її опусканні, як найбільш найбільш небезпечних моментах з точки зору виникнення аварій.

Здійснено експериментально-розрахункову оцінку критичних розмірів тріщини певної геометрії (кільцевої наскрізної тріщини, зовнішньої та внутрішньої поперечних кільцевих тріщин) для бурильних труб груп міцності Л, G-105, S-135 за умови впливу динамічних навантажень під час проведення спуско-підіймальних операцій.

Для кожного з цих випадків за наведеною в розділі 2 методикою будували безрозмірну залежність $\frac{\sqrt{t}}{\sigma} \frac{dK_I}{da} = F\left(\frac{a}{t}\right)$ та визначали місце різкого зростання швидкості зміни (dK_I/da) коефіцієнта інтенсивності напружень K_I під час спуско-підіймальних операцій бурильних колон. При цьому, встановивши координати точок L та M згідно описаної методики, визначали відносну глибину характерного дефекту.

Реалізацію запропонованого підходу продемонструємо на прикладі поперечної кільцевої тріщини.

Для визначення умов, за яких можливе руйнування бурильних труб досліджуваних груп міцності, що містять зовнішню поперечну кільцеву тріщину глибиною a , розглянемо розрахункову схему, зображену на рис. 8.

При обчисленні значень коефіцієнта інтенсивності напружень K_I вздовж фронту зовнішньої поперечної кільцевої тріщини (рис. 8) скористаємось залежністю

$$K_I = \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a} \cdot \frac{F}{\sqrt{Y}}, \quad (8)$$

$$\text{де } F = \frac{1 - R_{ia}^2}{\left[1 - (1 - R_{ia}) \frac{a}{t}\right]^2 - R_{ia}^2}, \quad R_{ia} = \frac{R_i}{R_i + t}, \quad H = 4 + 1,08 \cdot \frac{R_{ia}}{(1 - R_{ia}) \cdot \left(1 - \frac{a}{t}\right)},$$

$$Y = 0,8 + (1 - R_{ia}) \cdot \frac{a}{t} \cdot \frac{H}{\left[1 - (1 - R_{ia}) \cdot \frac{a}{t}\right]}.$$

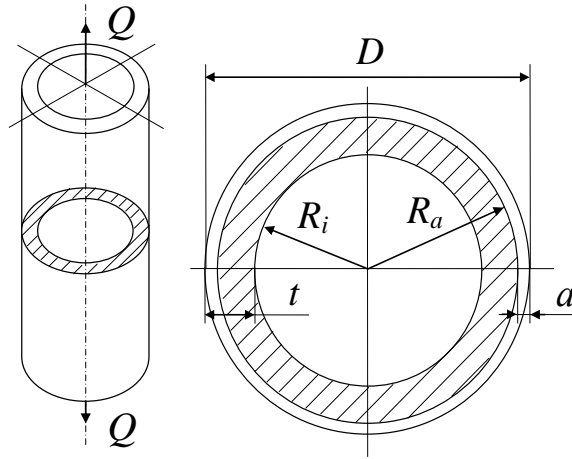


Рисунок 8 – Пустотілий циліндр під дією осьового навантаження з зовнішньою поперечною з кільцевою тріщиною

Критичну глибину зовнішньої поперечної кільцевої тріщини a_c визначали із залежності (8) за умови $K_I = K_{Jc}$, враховуючи задану глибину свердловини, тобто вагу бурильної колони

$$a_c = \frac{K_{Jc} \cdot Y}{\pi \cdot \sigma^2 \cdot F^2}, \quad (9)$$

де $\sigma = \frac{Q}{S_f^*}$, S_f^* – площа руйнування.

Для визначення характеристичної глибини втомної тріщини $(a/t)^*$, при якій різко зростає швидкість зміни (dK_I/da) коефіцієнта інтенсивності напружень K_I , використовували залежність

$$\frac{dK}{da} = 0,5 \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{\pi}{a}} \cdot \frac{F}{\sqrt{Y}} + \sigma \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot a}{Y}} \cdot \frac{dF}{da} - 0,5 \cdot \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a} \cdot \frac{F}{Y^{1,5}} \cdot \frac{dY}{da}, \quad (10)$$

$$\text{де } \frac{dF}{da} = \frac{2 \cdot (R_{ia} - 1) \cdot \left[\frac{a \cdot (R_{ia} - 1)}{t} + 1 \right] \cdot (R_{ia}^2 - 1)}{t \cdot \left\{ \left[1 - (1 - R_{ia}) \cdot \frac{a}{t} \right]^2 - R_{ia}^2 \right\}}, \quad \frac{dH}{da} = 1,08 \cdot \frac{R_{ia}}{t \cdot (1 - R_{ia}) \cdot \left(1 - \frac{a}{t} \right)^2}$$

$$\frac{dY}{da} = \frac{(1 - R_{ia})}{t \cdot \left[1 - (1 - R_{ia}) \cdot \frac{a}{t} \right]} \cdot \left\{ H + a \cdot \frac{dH}{da} + \frac{H \cdot a \cdot (1 - R_{ia})}{t \cdot \left[1 - (1 - R_{ia}) \cdot \frac{a}{t} \right]} \right\}.$$

За методикою, описаною в розділі 2, будували безрозмірну залежність $\frac{\sqrt{t}}{\sigma} \frac{dK_I}{da} = F\left(\frac{a}{t}\right)$ та визначали місце різкого зростання швидкості зміни (dK_I/da) коефіцієнта інтенсивності напружень K_I під час спуско-підймальних операцій бурильних колон. При цьому, встановивши координати точок L та M (рис. 9), визначали відносну глибину характерного дефекту, яка для розглядуваного випадку становила $(a/t)^* = 0,535$.

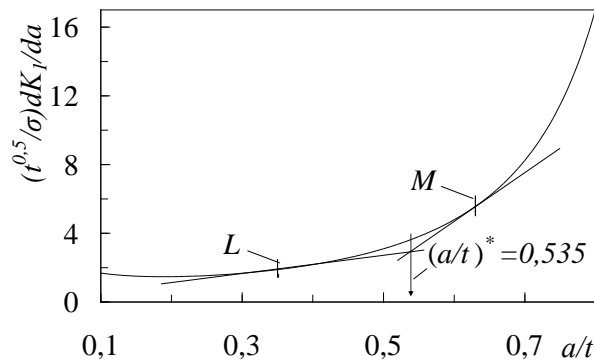


Рисунок 9 – Оцінка характерної глибини $(a/t)^*$ зовнішньої поперечної кільцевої тріщини у стінці бурильної труби (126×9 мм) за осьовим навантаженням

Враховуючи особливості руйнування металу бурильних труб груп міцності G-105, Л, S-135 та використовуючи залежність (9), встановили взаємозв'язок між критичною глибиною зовнішньої поперечної кільцевої втомної тріщини a_c/t та зусиллями, що діють у бурильній колоні (рис.10).

Подані графічно (рис. 10) результати обчислень дають підстави зробити висновок, що для бурильної труби групи міцності G-105 під час опускання на глибину від 2,7 км до 5,0 км ($1,04 \text{ МН} \leq F \leq 2,33 \text{ МН}$) критичними є зовнішні поперечні кільцеві тріщини в діапазоні $2,9 \text{ мм} \leq a_c \leq 4,8 \text{ мм}$ (рис. 10, крива I, ділянка I (CA)), тоді як на глибинах опускання від 0,4 км до 2,7 км небезпечними є втомні тріщини глибиною $a^* = 4,8 \text{ мм}$ (рис. 10, ділянка II (BC)).

Для резервної бурильної труби групи міцності Л під час опускання на глибину від 2,9 км до 5,0 км ($1,20 \text{ МН} \leq F \leq 2,33 \text{ МН}$) критичними є зовнішні по-

перечні кільцеві тріщини глибиною 3,2–4,8 мм (рис. 10, крива 2, ділянка I ($C' A'$)), тоді як на глибинах опускання від 0,4 км до 2,9 км небезпечними є втомні тріщини глибиною $a^* = 4,8$ мм (рис. 10, ділянка II (BC')).

Для металу бурильної труби групи міцності S-135 під час опускання на глибинах від 3,4 км до 5,0 км ($1,29 \text{ МН} \leq F \leq 2,33 \text{ МН}$) критичними є зовнішні поперечні кільцеві тріщини в діапазоні $3,4 \text{ мм} \leq a_c \leq 4,8 \text{ мм}$ (рис. 10, крива 3, ділянка I ($C'' A''$)), тоді як на глибинах від 0,4 км до 3,4 км небезпечними є втомні тріщини глибиною $a^* = 4,8$ мм (рис. 10, ділянка II (BC'')).

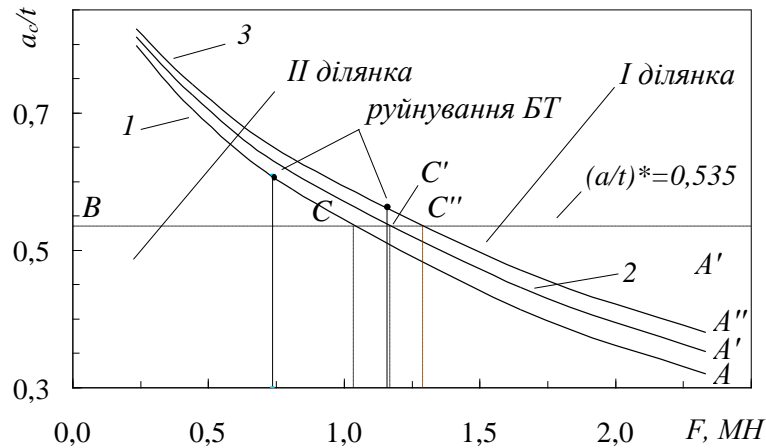


Рисунок 10 – Взаємозв'язок критичної (a_c/t) глибини зовнішньої поперечної кільцевої тріщини у стінці бурильних труб груп міцності G-105 (1), L (2) та S-135 (3) і зусилля пружного зв'язку (F) при спуско-підйомальних операціях бурильної колони

Результати розрахунково-експериментальних досліджень для розглянутих типів дефектів, що мали місце у процесі експлуатації, подано у таблиці 2.

Таблиця 2 – Руйнівні розміри поперечних корозійно-втомних тріщин бурильних труб груп міцності G-105 та S-135 ($D = 126 \times 9,0$ мм).

Група міцності бурильної труби	Місце руйнування	Робочі навантаження	Вид та критичні (руйнівні) розміри дефекта		
	L , м	F , МН	Ширина дефекта (промивини з тріщиною)	Глибина зовнішньої тріщини	Глибина внутрішньої тріщини
G-105	1690	0,736	$2a_c = 85,0$	$a^* = 4,82$ мм ($a_c = 5,49$ мм)	$a_c = 5,13$ мм ($a^* = 6,0$ мм)
S-135	2775	1,157	$2a_c = 72,0$	$a^* = 4,82$ мм ($a_c = 5,04$ мм)	$a_c = 4,68$ мм ($a^* = 6,0$ мм)

Аналіз отриманих результатів дає підстави зробити висновок, що руйнівний розмір дефекту залежить від його виду, групи міцності та умов експлуатації бурильної труби.

ВИСНОВКИ

У результаті проведення теоретичних і експериментальних досліджень отримано нове вирішення науково-технічного завдання із забезпечення безаварійної роботи бурильних колон шляхом оцінки впливу експлуатаційних навантажень на бурильні труби.

1. Аналіз даних про аварії, що мали місце при бурінні свердловин на площах бурового управління «Укрбургаз» за 2015-2017 р.р., вказав на суттєвий вплив напружено-деформованого стану на втомне руйнування бурильних труб та їх з'єднань. Огляд запропонованих методів і засобів оцінки втомної довговічності бурильних труб та аналіз практичних спостережень підтвердили необхідність подальших досліджень для їх удосконалення.

2. Модифіковано методику та експериментальні засоби для визначення критичних та характеристичних розмірів типових експлуатаційних дефектів, що забезпечило реалізацію дослідження умов руйнування сталей бурильних труб під час їх експлуатації.

В результаті експериментального визначення характеристик тріщиностійкості матеріалу бурильних труб груп міцності Л, G-105, і S -135 встановлено, що:

- для металів бурильних труб групи міцності Л тріщиностійкість J_C тривало експлуатованої бурильної труби (23 роки) у 2,08 рази менша, ніж труби запасу, а тріщиностійкість J_C металів бурильних труб групи міцності G-105, які експлуатувались 4 і 9 років зменшується в 1,17 рази;

- тріщиностійкість (J_C) металу бурильної труби групи міцності S-135 у 1,55 рази більша за тріщиностійкість металу бурильної труби групи міцності G-105, а критичний коефіцієнт інтенсивності напружень K_{Jc} – відповідно у 1,25 раз більший; це пояснює той факт, що термін експлуатації бурильної труби групи міцності S-135 до зламу виявився у 1,72 рази більшим, ніж бурильної труби групи міцності G-105.

3. В рамках розроблених математичних моделей поздовжніх та поздовжньо-крутильних коливань бурильної колони запропоновано геометричну модель фрагмента бурильної труби, що містить напівеліптичну тріщину, та досліджено напружено-деформований стан труби в околі вершини тріщини. Встановлено, що внесок динамічної складової в загальний коефіцієнт інтенсивності напружень коливається в межах від 10% до 25 % і залежить від умов роботи бурильної колони.

З'ясовано, що використання в компонованні віброзахисних пристроїв призводить до зниження напружень у заданому поперечному перерізі до 8% – 15%, що позитивно впливає на роботу бурильної колони. При зміні параметрів

віброзахисних пристроїв (ВЗП) можна сповільнити поширення втомної тріщини, завдяки чому труба може працювати ще певний період часу в даному компоненті за умови правильно вибраних режимів роботи та місця встановлення ВЗП.

4. Здійснено експериментально-розрахункову оцінку критичних розмірів тріщини певної геометрії (кільцевої наскрізної тріщини, зовнішньої та внутрішньої поперечних кільцевих тріщин) для бурильних труб груп міцності Л, G-105, S-135 за умови впливу динамічних навантажень під час проведення спуско-підймальних операцій.

Встановлено, що за умови впливу динамічних навантажень при спуско-підймальних операціях, для оцінки умов руйнування бурильних труб вказаних груп міцності, які містять зовнішні та внутрішні поперечні замкнуті кільцеві тріщини, необхідно враховувати їх групу міцності та тривалість експлуатації, а також глибину свердловини. Так, зокрема, на ділянках від 0,4 км до 2,7 км та від 2,9 км до 3,4 км треба враховувати показник “опірності елемента конструкції поширенню тріщини” (a^*), а на великих глибинах (понад 3 км) – критичну глибину тріщини (a_c).

За результатами проведених досліджень розроблено ”Методику експрес-прогнозування умов руйнування експлуатованих бурильних труб”, яку передано для впровадження в бурове управління ”Укрбургаз”.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Закордонні видання

1. V. Vekeryk, V. Tyrlych. Creak development in drill String cross-sections at longitudinal and torsion vibrations. *Scientific Bulltin, Serie C, Volume XVIII*. Baja Mare. 2004. p. 299 – 306.

2. V. Vekeryk, V. Tyrlych. Influence evaluation of the vibroprotective devices parameters on the creak in the drilling string. *Scientific Bulltin, Serie C, Volume XX*. Baja Mare. 2006. p. 379-382.

Фахові видання України

3 Тирлич В. В., Векерик В. І. Модель бурильної колони з тріщиною при повздовжніх коливаннях. *Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтопромислове обладнання*. 1997. вип.34. С. 141 – 148.

4. Векерик В. І., Тирлич В. В. Визначення коефіцієнта інтенсивності напружень при коливаннях бурильної колони з тріщиною. *Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: методи і засоби технічної діагностики*. 1999. вип.36. С. 337 – 342.

5.Тирлич В. В., Даляк Т. М., Витязь О. Ю., Перепічка В. В. Дослідження напружено-деформованого стану в бурильній трубі, що містить тріщину. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2011. №4 (41). С. 52 – 57 .

6. Перепічка В. В., Тирлич В. В., Даляк Т. М., Бурда М. Й. Вплив в'язких конструктивних елементів у закріпленні на динаміку бурильної колони під час її повздовжніх коливань. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2010. №2(35). С. 89–92.

7. Перепічка В. В., Тирлич В. В., Даляк Т. М., Яцишин В. Д. Дослідження коливних процесів в бурильній колоні з урахуванням зосереджених чинників пружності та в'язкості в крайових областях. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2010. №3(36). С. 30–33.

8. Тирлич В. В. Моделювання розвитку напівеліптичної тріщини в тілі бурильної труби при використанні в компоновці віброзахисних пристроїв. *Прикарпатський вісник НТШ*. Число. 2015. №1(29). С. 250-263.

9. Витязь О. Ю., Грабовський Р. С., Тирлич В. В. Вплив тривалості експлуатації на результати оцінювання умов руйнування бурильних колон під час спуско-підіймальних операцій. *Нафтогазова енергетика*. 2017. №1 (27). С. 7 – 15.

10. Витязь О. Ю., Грабовський Р. С., Тирлич В. В., Артим В. І. Оцінка впливу динамічних навантажень на умови руйнування труб бурильних колон під час спуско-підіймальних операцій. *Науковий вісник ІФНТУНГ*. 2018. №1 (44). С. 25 – 34.

Матеріали конференцій:

11. Векерик В. І., Тирлич В. В. Дослідження впливу параметрів віброзахисного інструменту на розвиток тріщини. Тезиси докладов науково-технічної конференції "Механика и новые технологии", (г. Севастополь, 04 – 06 сентября 1995). Севастополь, 1995. С. 50 – 52.

12. Тирлич В. В. Визначення напружено-деформованого стану в бурильній колоні з тріщиною. Тези доп. наук.-практ. конф. "Нафта і газ України-96", (м.Харків, 14 – 16 травня 1996). Том 2. С.202.

13. Тирлич В. В. Вивчення шляхів зміни динаміки та напружено-деформованого стану бурильної колони з метою її віброзахисту. Матеріали Першої всеукр. наук. конф. "Прикладні задачі математики", (м. Івано-Франківськ. 13 – 15 жовтня 2011). Івано-Франківськ, 2011. С. 112.

14. Тирлич В. В. Використання бурових амортизаторів, як один із способів віброзахисту бурильної колони. Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції "Нафтогазова освіта і наука: стан та перспективи", (м. Івано-Франківськ, 10 – 12 грудня 2014). м. Івано-Франківськ, 2014. С. 242 – 244.

15. Тирлич В. В. Розрахунок довговічності роботи пошкоджених елементів бурильної колони при використанні віброзахисних пристроїв. *Нафтогазова енергетика 2015: праці Міжнар. наук.-техн. конф.*(м. Івано-Франківськ, 21 – 23 квітня 2015). Івано-Франківськ, 2015. С. 69 – 73.

16. Тирлич В. В. До питання форми та росту втомної тріщини в тілі бурильної труби. Матеріали Другої всеукр. наук. конф. "Прикладні задачі математики", (м. Івано-Франківськ. 13 – 15 жовтня 2016). Івано-Франківськ, 2016. С. 107 – 108.

17. Тирлич В. В. До питання про міцність та довговічність бурильних труб з механічними пошкодженнями, як концентраторами напружень.

Матеріали Шостої міжнар. наук.-техн. конф. "Нафтогазова енергетика 2017", (м. Івано-Франківськ, 15 – 19 травня 2017). Івано-Франківськ, 2017. С. 149 – 151.

18. Витязь О. Ю., Тирлич В. В. Вплив деградації властивостей сталей на оцінку умов руйнування труб бурильних колон при спуско-підймальних операціях. Матеріали Шостої міжнар. наук.-техн. конф. "Нафтогазова енергетика 2017", (м. Івано-Франківськ, 15 – 19 травня 2017). Івано-Франківськ, 2017. С. 170 – 172.

АНОТАЦІЯ

Тирлич В. В. Забезпечення безаварійної роботи бурильних труб з виявленими експлуатаційними дефектами. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.05.12 – Машини нафтової та газової промисловості. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2019.

Дисертацію присвячено забезпеченню безаварійної роботи бурильних труб з експлуатаційними дефектами шляхом оцінки їх напружено-деформованого стану і прогнозуванням залишкового ресурсу.

Розроблено математичні моделі бурильних колон, що містять експлуатаційні дефекти, під дією поздовжніх та поздовжньо-крутильних коливань. На основі розроблених моделей досліджено напружено-деформований стан бурильної колони та вплив на нього наявності віброзахисних пристроїв. Встановлено, що внесок динамічної складової в загальний коефіцієнт інтенсивності напружень коливається в межах від 10 до 25% і залежить від умов роботи бурильної колони.

Проведено експериментально-розрахункову оцінку критичних розмірів тріщин певної геометрії (кільцевої наскрізної, зовнішньої та внутрішньої поперечних кільцевих) для бурильних труб груп міцності L, G-105, S-135 за умови впливу динамічних навантажень під час проведення спуско-підймальних операцій.

Встановлено, що під час оцінювання умов руйнування бурильних труб із зовнішньою та внутрішньою поперечними кільцевими тріщинами, які у ході спуско-підймальних операцій зазнають дії динамічних навантажень, слід враховувати групу міцності й тривалість експлуатації досліджуваних труб, а також глибину їх опускання.

Проведено оцінювання умов критичного руйнування в процесі експлуатації бурильної колони бурильних труб груп міцності G-105 та S-135.

За результатами проведених досліджень розроблено "Методику експрес-прогнозування умов руйнування експлуатованих бурильних труб".

Ключові слова: бурильна труба, напружено-деформований стан, тріщина, коефіцієнт інтенсивності напружень, віброзахисний пристрій, довговічність.

АННОТАЦИЯ

Тирлич В. В. Обеспечение безаварийной работы бурильных труб с выявленными эксплуатационными дефектами. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.05.12 - машины нефтяной и газовой промышленности. - Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2019.

Диссертация посвящена обеспечению безаварийной работы бурильных труб с эксплуатационными дефектами путем оценки их напряженно-деформированного состояния и прогнозирования остаточного ресурса.

Разработаны математические модели бурильных колонн содержащих эксплуатационные дефекты в условиях продольных и продольно-крутильных колебаний. На основе разработанных моделей исследовано напряженно-деформированное состояние бурильной колонны и влияние на него наличия виброзащитных устройств. Установлено, что вклад динамической составляющей в общий коэффициент интенсивности напряжений колеблется в пределах от 10 до 25% и зависит от условий работы бурильной колонны.

Проведена экспериментально-расчетная оценка критических размеров трещины определенной геометрии (кольцевой сквозной, внешней и внутренней поперечных кольцевых) для бурильных труб групп прочности Л, G-105, S-135 при условии влияния динамических нагрузок при проведении спуско-подъемных операций.

Установлено, что при условии влияния динамических нагрузок при спуско-подъемных операциях, для оценки условий разрушения бурильных труб указанных групп прочности, содержащих внешние и внутренние поперечные замкнутые кольцевые трещины, необходимо учитывать их группу прочности и продолжительность эксплуатации, а также глубину скважины.

Проведена оценка условий критического разрушения в процессе эксплуатации бурильной колонны бурильных труб групп прочности G-105 и S-135.

По результатам проведенных исследований разработана "Методика экспресс-прогнозирования условий разрушения эксплуатируемых бурильных труб".

Ключевые слова: бурильная труба, напряженно-деформированное состояние, трещина, коэффициент интенсивности напряжений, виброзащитные устройство, долговечность.

ABSTRACT

Tyrlych V.V. Providing of trouble-free operation of drilling pipes with detected operational defects. - On the rights of the manuscript.

Thesis for a candidate's degree of technical sciences (doctor of philosophy) in specialty 05.05.12 - Machines of the oil and gas industry. - Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2019.

Dissertation is devoted to ensuring of trouble-free operation of drilling pipes with operational defects by assessing their stress-strain state and predicting the residual resource.

The work analyzes industrial data on the accident rate of drill pits in the areas of drilling management Ukrburgaz for 2015-2017, which confirmed that the number of destruction caused by the accumulation of fatigue damage remains quite large. The main reasons for this are formation of microcracks with their rapid erosion and subsequent breakage of the pipe, as well as significant sign-exchange loads, leading to destruction.

Main types of defects found in drill pipes during operation are considered. Methods and means of estimating the stress-strain state of drilling pillars and also the existing approaches to the assessment of the strength and residual life of drill pipes are analyzed.

The method of experimental and design investigations of operational reliability of drilling columns is improved and its justification is given.

It was found out that for metals which for metals of drill pipes of the strength group L the fracture resistance J_C of the exploited drill pipe lasted for 23 years was 2.08 times less than that of the stock pipes, and the fracture resistance J_C of the metals of the drilling pipes of the strength group G-105, which was exploited 4 and 9 years, decreases by 1.17 times.

Experimental-design estimation of fracture resistance (J_C) of metal of drilling pipes and their performance parameters was carried out, on the basis of which it was established that the crack resistance of the metal of the drill pipe of the S-135 strength group is 1,55 times higher than the crack strength of the metal of the drill pipe of the strength group G-105, but critical stress intensity coefficient K_{Jc} is 1.25 times higher.

Mathematical models of drilling columns with longitudinal and longitudinal-torsional oscillations containing operational defects are developed. On the basis of the developed models a study of the strain-strain state of the drill column and the effect on it of the vibration protection devices were carried out. It is established that the contribution of the dynamic component to the total intensity of stress varies in the range from 10 to 25 % and depends on the conditions of the drill column.

Usage in the assembly of the drilling string of vibration protection devices leads to a decrease in the given section to 8-15 % with properly selected parameters of the VPD and its installation location.

Experimental-estimation estimation of critical sizes of operating defects depending on their type and sizes is carried out. The critical and characteristic depths of the external or internal transverse annular crack for drill pipes of the strength groups G-105, L and S-135 are established taking into account the influence of dynamic loads during the run-up operations.

It is shown that in the descending-lifting operations, to determine the conditions for the destruction of drill pipes of the strength groups G-105, L, S-135, which contain internal transverse closed ring cracks, it is necessary to take into account the

strength group and the duration of operation of the drill pipe. In addition, at low depths it is necessary to take into account the index of "resistance of the element of the structure of the growth of the crack", and at depths in the range from 1,1-1,4 km to 5,0 km the critical depth of the inner closed ring (a_c).

Conditions of critical fracture during the operation of the drill string drill pipe of the strength groups G-105 and S-135 are evaluated.

According to the results of the conducted research "Method of express-forecasting of conditions for the destruction of exploited drilling pipes" was developed which was submitted for implementation in the "Ukrburgaz".

Key words: drilling pipe, stress-strain state, fracture, stress intensity factor, vibration protection device, durability.