

622.276.55  
К 65

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

*Копей Володимир Богданович*

УДК 622.276.054

К 65

**ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ШТАНГОВОЇ КОЛОНИ  
ПРИ ВИДОБУТКУ ПАРАФІНІСТИХ НАФТ**

*Спеціальність 05.05.12 – Машини нафтової і газової промисловості*

**АВТОРЕФЕРАТ**

*дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук*



**Івано-Франківськ – 2004**

Дисертацією є рукопис.

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



**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор **Петрина Юрій Дмитрович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедру технології нафтогазового машинобудування.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор **Заміховський Леонід Михайлович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедру комп'ютеризованих систем управління та автоматики.

доктор фізико-математичних наук **Николишин Мирон Михайлович**, Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача.

**Провідна установа:** ВАТ "Український нафтогазовий інститут".

Захист відбудеться "19" жовтня 2004 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий "17" вересня 2004 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Консульта 0.5

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Більше 70% нафтових свердловин України оснащені свердловинними штанговими насосними установками (СШНУ), за допомогою яких видобувається 50% всієї нафти. Це пояснюється відносною простотою конструкції СШНУ, зручністю в експлуатації мало- та середньодобітних свердловин.

В той же час, як показує практика, мають місце багаточисельні відмови підземного обладнання СШНУ, особливо колони насосних штанг (штангової колони), яка сприймає значні знакомінні навантаження, піддається корозії та інтенсивному спрацюванню. Відмова колони насосних штанг пов'язана з необхідністю проведення тривалого і дорогого підземного ремонту свердловин. Окремі сучасні методи підвищення ресурсу штангової колони вирішують тільки частину проблем, наприклад, корозію штанг, або їх корозійно-втомне руйнування чи спрацювання.

Крім цього, гострою проблемою є ускладнення, пов'язані з виділенням смолопарафінових утворень (СПУ), які призводять до збільшення навантаження на СШНУ, зменшення пропускної здатності труб та необхідності проведення підземних ремонтів, пов'язаних з депарафінізацією. Так, нафти родовищ Прикарпаття характеризуються високим вмістом парафіну (9,5-12,5%) і смол (14,5-17,5%). Сучасні методи боротьби з СПУ (теплові, хімічні) дорогі та часто неефективні.

Застосування комплексу обладнання, який включає штангообертач, склопластикові насосні штанги, скребки-протектори вирішує проблеми СПУ та корозії, корозійно-втомного руйнування, спрацювання і згину насосних штанг. Однак, при використанні цього обладнання окремо чи в комплексі виникає багато проблем. Так, існуючі конструкції протекторів володіють низькою універсальністю і призначені, переважно, або для боротьби зі спрацюванням, або попередження СПУ. Існуючі конструкції склопластикових насосних штанг потребують удосконалення з метою підвищення їх ресурсу в умовах збільшених навантажень стиску і згину, які виникають при обладнанні колони протекторами.

У зв'язку з цим, розробка надійного комплексу обладнання для комплексного підвищення ресурсу колони насосних штанг та боротьби з СПУ є актуальною задачею, яка має важливе народногосподарське значення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тематика роботи є частиною планових науково-дослідних програм по розвитку нафтопромислового комплексу України і базується на результатах науково-дослідних робіт "Розробка і дослідження конструкцій труб і виробів нафтового сортаменту з полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) і організація їх серійного виробництва", "Розробка штангообертача та скребків-протекторів для насосних штанг". Роботи входять в координаційний план Міністерства освіти і науки "Наукові основи розробки нових технологій видобутку нафти і газу, газопромислового обладнання, поглибленої переробки нафти і газу з метою отримання високоякісних моторних продуктів і нафтохімічної сировини".

НТБ  
ІФНТУНГ



матеріалів, допоміжних матеріалів, наданої в національну

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є підвищення ресурсу колони насосних штанг та попередження ускладнень, пов'язаних з СПУ, шляхом розробки комплексу обладнання, який складається з склопластикових насосних штанг, штангообертача, скребків-протекторів та протекторних муфт.

Для досягнення мети необхідно розв'язати наступні задачі:

1. Проаналізувати причини відмов колони насосних штанг, вплив різних експлуатаційних чинників на частоту відмов колони при видобутку парафіністич нафт.

2. На основі аналізу існуючих аналогів розробити комплекс обладнання для підвищення ресурсу колони насосних штанг та боротьби з СПУ, запропонувати наукові принципи його проектування.

3. Експериментально дослідити характер зміни експлуатаційних характеристик елементів штангової колони при специфічних умовах експлуатації, зумовлених СПУ, та розробити способи підвищення ресурсу склопластикових насосних штанг та муфтових різьбових з'єднань насосних штанг.

4. Розробити метод прогнозування ресурсу сталевих насосних штанг з тріщиною при рівномірному обертанні колони та метод прогнозування ресурсу штангових муфт.

5. Провести промислові випробування і визначити економічну ефективність обладнання для підвищення ресурсу колони насосних штанг та боротьби з СПУ: склопластикових насосних штанг, насосних штанг з протекторами-скребками і штангообертачів.

**Об'єкт дослідження** – колона насосних штанг.

**Предмет дослідження** – методи і засоби підвищення ресурсу колони насосних штанг та боротьби з СПУ.

**Методи дослідження.** При аналізі відмов колони насосних штанг використовували методи математичної статистики. При розробці комплексу обладнання використовували системи автоматизованого проектування та метод кінцевих елементів (МКЕ). Для оцінки тріщиностійкості сталей для насосних штанг використовували основні положення лінійної механіки руйнування.

**Наукова новизна отриманих результатів:** Автором самостійно вперше:

- досліджено вплив основних експлуатаційних чинників на частоту відмов елементів колони насосних штанг при видобутку парафіністич нафт;

- на основі тривимірної параметричного моделювання і методу кінцевих елементів розроблені наукові принципи проектування елементів обладнання для підвищення ресурсу колони насосних штанг та боротьби з СПУ;

- досліджено вплив специфічних умов експлуатації, зумовлених СПУ, на характер зміни експлуатаційних характеристик елементів штангової колони: виявлено характер підвищення корозійної тріщиностійкості сталей для насосних штанг при наявності на них суцільного шару СПУ та характер підвищення корозійної тріщиностійкості штангової сталі 20Н2М при статичному перевантаженні і невисокому коефіцієнті інтенсивності напружень;

- за допомогою МКЕ запропонована методика порівняння ефективності модернізованих муфтових з'єднань насосних штанг з точки зору запасу втомної міцності;

- за допомогою МКЕ запропоновано метод прогнозування ресурсу штанг з тріщиною при рівномірному обертанні колони в умовах дії навантажень розтягу і згину.

#### **Практичне значення отриманих результатів:**

- раціоналізовано конструкцію храпового штангообертача, протекторів для легких і важких умов роботи;
- з метою раціонального вибору протекторів для конкретних умов роботи і їх удосконалення, проаналізовано конструкції поширених протекторів з точки зору їх опору спрацюванню та гідродинамічних характеристик;
- удосконалено конструкції склопластикових насосних штанг та муфтових з'єднань насосних штанг з точки зору підвищення їх ресурсу;
- визначено допустиму глибину нерівномірного і рівномірного спрацювання штангової муфти та визначено величину підвищення довговічності муфти при її рівномірному спрацюванні;
- розроблено технічні умови на насосні штанги зі скребками-протекторами і удосконалений штангообертач;
- на обладнаних СШНУ свердловинах Долинського родовища здійснено впровадження штангообертачів ОКШ-100 і насосних штанг з протекторами-скребками згідно ТУ.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати роботи отримані автором самостійно. Ним знайдені залежності частоти відмов колони від експлуатаційних чинників [5], проведено аналіз існуючого [2,3] та запропоновані наукові принципи проектування удосконаленого [6] обладнання для підвищення ресурсу колони насосних штанг та боротьби з СПУ, здійснено вибір найбільш перспективних методів прогнозування ресурсу штанг [1,18,19], розроблено елементи конструкції роз'ємних склопластикових штанг [8,11] і досліджено втомну міцність посиленних склопластикових штанг [21,22], запропоновано методику порівняння ефективності модернізованих муфтових з'єднань насосних штанг з точки зору запасу втомної міцності [7] і удосконалено елементи конструкції муфтових з'єднань [17].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на: міжнародних науково-технічних конференціях "Надійність машин та прогнозування їх ресурсу" (Івано-Франківськ-Яремча, 2000), "Нафта-Газ України-2000" (Івано-Франківськ, 2000), "Методи і технології в нафтовій геології, бурінні та розробці родовищ" (Краків, 2002; Закопане, 2003) та Шостому міжнародному симпозіумі українських інженерів-механіків у Львові (Львів, 2003).

**Публікації.** За результатами досліджень, які викладені в дисертації, опубліковано 22 роботи, у тому числі 7 статей у наукових фахових журналах та 10 деклараційних патентів України на винахід.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, викладених на 175 сторінках тексту, 95 рисунків, 18 таблиць, списку використаних джерел, який містить 94 найменування, та 5 додатків на 8 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертації, сформульовані мета та задачі досліджень, подані наукова новизна та практичне значення отриманих

результатів. Визначений особистий внесок здобувача та приведена інформація про апробацію результатів роботи.

**У першому розділі** проведений аналіз умов роботи та причин відмов колони насосних штанг, аналіз конструкцій сучасних штангообертачів, протекторів і склопластикових штанг, аналіз способів зменшення нерівномірності навантаження по витках різьби муфтового з'єднання насосних штанг та зроблено оцінку методів прогнозування ресурсу насосних штанг.

На основі аналізу статистичних даних по відмовам колони насосних штанг в НГВУ "Долинанафтогаз" визначені залежності частоти відмов елементів колони від таких факторів, як діаметр плунжера свердловинного насоса, довжина штангової колони, довжина секцій штанг різного діаметра, глибина обриву колони, газовий фактор, процент води в продукції, наявність інтенсивних СПУ, інтервал кривизни свердловини, продуктивність свердловини, приведені напруження в точці підвісу колони. Дані залежності дозволяють проводити раціональний вибір експлуатаційних параметрів з точки зору підвищення ресурсу колони і боротьби з СПУ.

Показано, що найбільш перспективними методами підвищення ресурсу колони насосних штанг і боротьби з СПУ є застосування комплексу обладнання на основі храпового штангообертача, скребоків-протекторів, склопластикових насосних штанг та протекторних муфтових з'єднань насосних штанг. Показано необхідність удосконалення цього обладнання та розробки принципів його раціонального проектування з точки зору підвищення ресурсу.

Встановлено, що для прогнозування ресурсу елементів колони з тріщинами найбільш ефективна методика оцінки залишкового ресурсу за параметрами тріщиностійкості.

На підставі проведеного аналізу сучасного стану проблеми сформульовано мету і завдання дисертаційної роботи.

**У другому розділі** приведено методика дослідження статичного і втомного руйнування склопластикових насосних штанг і муфтових з'єднань з нерівномірно спрацьованими муфтами, методика визначення тріщиностійкості сталей для насосних штанг в корозійному середовищі, в умовах СПУ і при статичних перевантаженнях.

Статичні випробування проводили на зразках нових і уживаних склопластикових штанг, які відпрацювали в свердловині два роки. Зразки навантажували розтягом і стиском вздовж волокон матеріалу, та стиском поперек волокон. На статичний розтяг випробувались також натурні та зменшені зразки з'єднань тіла склопластикової штанги і сталеної головки.

Випробування на втому проводили на натурних зразках звичайних і посиленних (з збільшеною довжиною контакту пресового з'єднання тіла з головою) склопластикових насосних штанг шляхом циклічного консольного згину у корозійному середовищі.

Для визначення характеристик тріщиностійкості проводились випробування плоских зразків з сталі 20Н2М вирізаних з насосних штанг. Зразки навантажувались консольним згином з частотою 24,2 Гц при температурі 20°C у повітрі та 3% розчині NaCl. Для імітації СПУ, на поверхні зразка вирошували шар смоло-парафіністих речовин товщиною 1-2 мм шляхом їх кристалізації з розчину. Для визначення

впливу статичного перевантаження на швидкість росту втомної тріщини зразок піддавали статичному перевантаженню в 1,5; 2 і 3 рази.

Випробування на втому зменшених зразків муфтового з'єднання насосних штанг з нерівномірно спрацьованою муфтою проводили при віднульовому циклічному розтязі.

У третьому розділі за допомогою МКЕ виконано аналіз напружено-деформованого стану храпових механізмів для штангообертачів, гідродинамічних характеристик сучасних конструкцій протекторів, пропонуються принципи проектування за допомогою параметричного тривимірного моделювання та МКЕ обладнання для підвищення ресурсу колони насосних штанг та боротьби з СПУ: храпового штангообертача безперервної дії, протекторів для легких і важких умов роботи.

Проаналізовано переваги і недоліки храпових механізмів з зачепленням по торцю колеса. На основі кінцево-елементного аналізу напружено деформованого стану зуба храпового колеса кожного виду, встановлено, що храпові механізми з круглозубим зачепленням можуть використовуватись для легких умов роботи, а механізми з круглозубим кулачковим та прямозубим шарнірним зачепленням – для важких.

З метою полегшення розробки раціональних та універсальних конструкцій протекторів розроблено їх класифікацію за призначенням, місцем розташування, технологією монтажу і конструкційними ознаками.

З метою раціонального вибору протекторів для конкретних умов роботи і їх удосконалення проаналізовано конструкції поширених протекторів з точки зору їх опору спрацюванню та гідродинамічних характеристик. Виділено протектори для легких (об'єм -  $80 \cdot 10^3$ - $100 \cdot 10^3$  мм<sup>3</sup>, сумарна площа тертя -  $3200$ - $4300$  мм<sup>2</sup>) і важких (об'єм -  $100 \cdot 10^3$ - $150 \cdot 10^3$  мм<sup>3</sup>, сумарна площа тертя -  $5000$ - $7300$  мм<sup>2</sup>) умов роботи. Розроблені їх тривимірні моделі і методом кінцевих елементів обраховано гідродинамічні характеристики: інтенсивність турбулентності за протектором та силу гідродинамічного опору.

Раціоналізація конструкції протектора полягає в розробці виробу з достатньою площею тертя ( $S_{тер}$ ), мінімальним гідродинамічним опором ( $F_y$ ), турбулентністю потоку за ним і об'ємом матеріалу ( $V$ ). На прикладі проектування протектора для насосних штанг покажемо основні етапи раціоналізації конструкції. Будеться параметрична модель деталі (рис. 1) так, щоб параметри, які підлягають раціоналізації були легко доступні для зміни і, по можливості, незалежні.

Визначаються критерії раціоналізації, параметри, які підлягають раціоналізації, їх значення і допустимі межі. Задаються значення параметрів вихідної моделі і встановлюються цілі раціоналізації:

Параметри вихідної моделі:  $R=9$ мм,  $L=90$ мм,  $\alpha=27^\circ$ ,  $R_1=20$ мм,  $R_2=3$ мм.

Цілі раціоналізації: максимальна площа тертя ( $S_{тер} \rightarrow max$ ), мінімальний об'єм ( $V \rightarrow min$ ), мінімальний гідродинамічний опір ( $F_y \rightarrow min$ ).

Далі, за допомогою блоку МКЕ знаходяться залежності критеріїв раціоналізації від кожного параметра вихідної моделі (рис. 2).

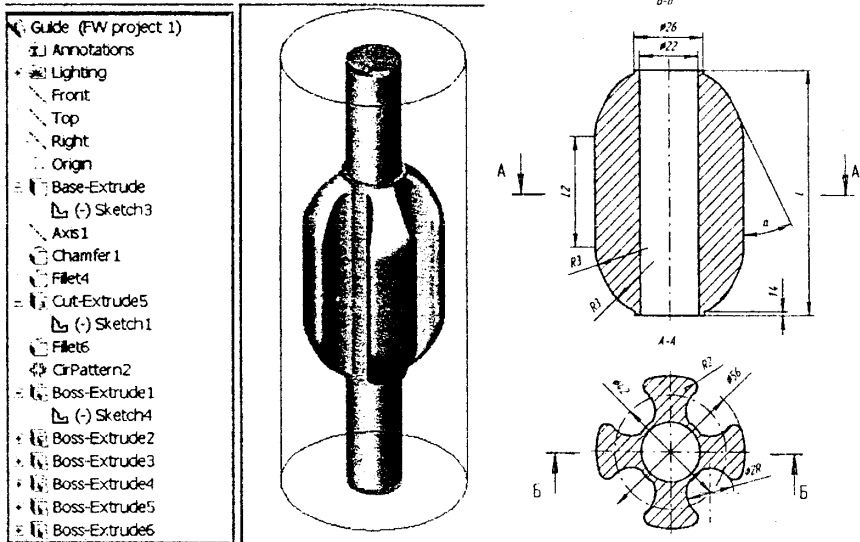


Рис. 1. Дерево параметрів моделі та геометричні параметри протектора

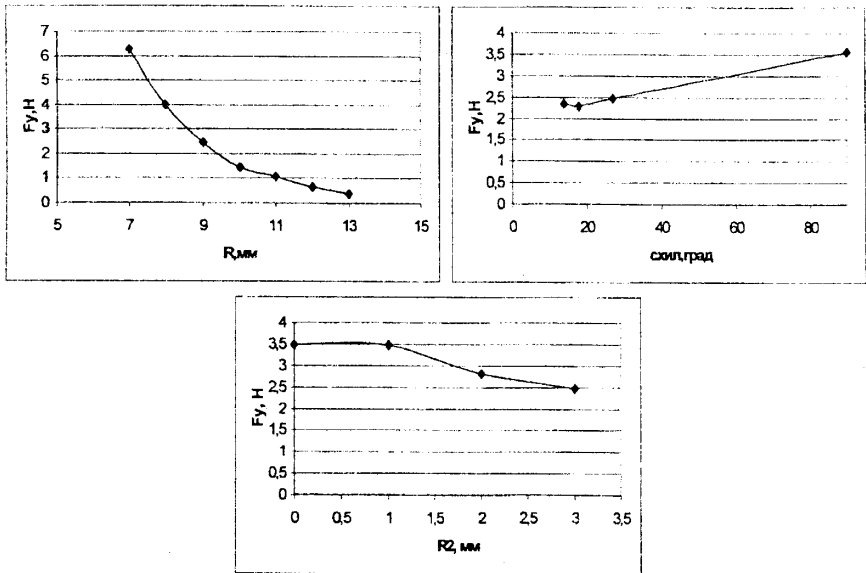


Рис. 2. Залежність сили гідродинамічного опору від геометричних параметрів протектора: а- радіуса канавки; б- гідродинамічного схилю; в- радіуса заокруглення лопатки.



Аналіз таких залежностей дозволяє вибрати раціональні параметри залежно від цілей раціоналізації. Раціональні параметри протекторів для важких умов роботи (в значно викривлених свердловинах):

$R=10$  мм,  $L=120$  мм,  $\alpha=45^\circ$ ,  $R_3=15$  мм,  $R_2=2$  мм,  $V=108599$  мм<sup>3</sup>,  $S_{nc}=820$  мм<sup>2</sup>, для легких умов роботи:

$R=12$  мм,  $L=90$  мм,  $\alpha=45^\circ$ ,  $R_3=15$  мм,  $R_2=1$  мм,  $V=59671$  мм<sup>3</sup>,  $S_{nc}=731$  мм<sup>2</sup>.

Удосконалені протектори відрізняються від існуючих меншим об'ємом (на 30 %), більшою площею тертя (на 23-46 %), меншим гідродинамічним опором (на 50%).

За допомогою аналогічних принципів раціоналізації, показані основні етапи проектування та розроблено конструкцію храпового штангообертача безпервної дії. За допомогою раціоналізації зуба храпового колеса максимальні напруження в ньому зменшено в 1,4 рази.

**В четвертому** розділі розглядаються питання прогнозування і підвищення ресурсу сталевих і склопластикових насосних штанг та їх муфтових різьбових з'єднань.

Випробування на статичний розтяг і стиск нових і уживаних склопластикових штанг дозволили оцінити зміну їх механічних характеристик після двох років експлуатації: границя пропорційності при розтязі зменшується на 24 МПа, а границя міцності на 18 МПа, границя міцності при стиску вздовж волокон зменшується на 33 МПа, при стиску поперек волокон на 16 МПа. Це доводить необхідність захисту з'єднань тіла штанги з головкою від впливу середовища.

Втомні випробування склопластикових насосних штанг при циклічному згині дозволили визначити границі втоми: для штанги звичайної конструкції в пластовій воді з нафтою - 70 МПа, в мінералізованій пластовій воді - 65 МПа, для штанги посиленої конструкції в нафті з 10% HCl - 98 МПа. Розраховано характеристики розсіювання витривалості насосних штанг. Показано, що склопластикові штанги посиленої конструкції можуть використовуватись в умовах підвищених навантажень згину і стиску.

Встановлено, що діаграма втомного руйнування сталі 20H2M при випробуванні на корозійну тріщиностійкість в середовищі 3% NaCl і умовах, які імітують СПУ збігається з діаграмою втомного руйнування при випробуванні на повітрі, що пояснює факт зменшення кількості корозійно-втомних відмов в парафіністих свердловинах. Тому, рекомендується не обладувати штанги рухомими скребками при невисокій інтенсивності СПУ на тілі штанг.

Досліджено вплив статичного перевантаження на швидкість росту втомної тріщини в зразках з сталі 20H2M в корозійному середовищі 3%NaCl. Встановлено, що при максимальному коефіцієнті інтенсивності напружень (КІН) рівному 8,3 МПа·м<sup>1/2</sup> перевантаження в два рази найбільш ефективно з точки зору підвищення довговічності штанги з тріщиною і призводить до сповільнення росту втомної тріщини на 25000 циклів.

За допомогою розроблених кінцево-елементних моделей клиново-клеєвого і пресового з'єднань тіла склопластикової штанги з сталюю головкою проаналізовано напружено-деформований стан з'єднань на різних рівнях зовнішнього навантаження. Недоліком клинового з'єднання є нерівномірний

розподіл навантаження між клинами, а пресового – можливість проникнення середовища в з'єднання та можливість пошкодження тіла при обтисканні. На основі випробувань дослідних зразків і МКЕ знайдено оптимальні параметри пресового з'єднання. Розроблено конструкції і дані рекомендації щодо удосконалення технології виготовлення склопластикових насосних штанг.

За допомогою МКЕ уточнено формули для обчислення КІН в насосних штангах при дії навантаження розтягу, отримано формули для обчислення КІН в стандартних штангових муфтах та в насосних штангах з тріщиною при обертанні колони:

$$K = \sigma(\pi a)^{1/2} Y, \quad (1)$$

$$Y = A_1 \varepsilon^3 - A_2 \varepsilon^2 + A_3 \varepsilon + A_4,$$

$$A_1 = 18,525 \sin(\gamma - 11,54) + 50,76,$$

$$A_2 = 13,675 \sin(\gamma - 11,676) + 35,646,$$

$$A_3 = -3,405 \sin(\gamma + 3,688) + 8,93,$$

$$A_4 = -0,528 \gamma + 1,244,$$

де  $\sigma$  - напруження розтягу і згину в тілі штанги;

$a$  - глибина тріщини;

$\gamma$  - кут нахилу площини дії згинаючого моменту до осі перерізу штанги;

$\varepsilon$  - відносна глибина тріщини з прямолінійним фронтом.

При рівномірному обертанні колони в умовах дії однакових невисоких навантажень розтягу і згину обертання колони може підвищити довговічність штанг з тріщиною в 1,5-4 рази (рис. 3).

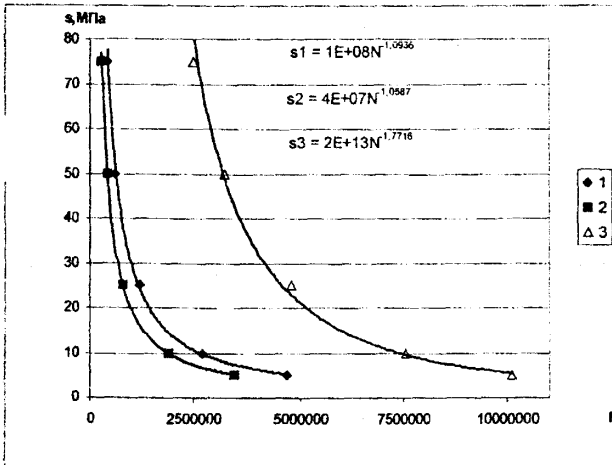


Рис. 3. Криві втоми для насосної штанги діаметром 22 мм (сталь 20Н2М, середовище - 3%NaCl) з початковою глибиною тріщини 2 мм: 1 – при рівномірному обертанні колони ( $\gamma \neq \text{const}$ ); 2 -  $\gamma = 0^\circ$ , 3 -  $\gamma = 180^\circ$

Побудовані криві втоми для муфт і штанг з тріщиною початкової глибини 2 мм при дії на штангу навантаження розтягу.

Запропоновані способи зменшення нерівномірності навантаження по витках різьби муфтового різьбового з'єднання насосних штанг діаметром 22 мм: застосування муфти розтягу-стиску, збільшення довжини зарізьбової канавки до 25 і 34 мм, застосування муфти з пластичного матеріалу (модуль пружності і границю текучості зменшено на 5%), попереднє деформування з'єднання високим зусиллям згвинчування (на 50% збільшено колове зміщення муфти відносно штанги при згвинчуванні).

За допомогою МКЕ проаналізовано напружено-деформований стан стандартного муфтового з'єднання насосних штанг діаметром 22 мм та з'єднань з зменшеною нерівномірністю навантажень по витках різьби і ідентифіковано зони з високим потенціалом до втомного руйнування. Пропонується методика порівняння ефективності модернізованих з'єднань з точки зору запасу втомної міцності згідно якої коефіцієнт запасу втомної міцності може бути виражений так:

$$D = \frac{\sigma_N - m \cdot \sigma_m}{\sigma_a} = \frac{207 - \sigma_m}{\sigma_a}, \quad (2)$$

де  $\sigma_N$  - границя витривалості,  $\sigma_N=207$  МПа;  
 $m$  - коефіцієнт впливу середнього напруження,  $m=1$ ;  
 $\sigma_m$  - середнє нормальне напруження (МПа);  
 $\sigma_a$  - амплітуда напружень за критерієм Мізеса (МПа).

При аналізі нового типу з'єднання спочатку ідентифікуються небезпечні зони з точки зору втомної міцності, потім в них знаходяться залежності  $\sigma_m$  і  $\sigma_a$  від зовнішнього навантаження  $p$ , знаходиться залежність  $D(p)$  і порівнюється з залежністю  $D(p)$  для стандартного з'єднання (рис.4).

Запропоновані зміни конструкції муфтового з'єднання підвищують в небезпечних зонах коефіцієнт запасу втомної міцності в 2-3 рази. Найбільш перспективним є поєднання в одній конструкції збільшеної довжини зарізьбової канавки до 34 мм і муфти з пластичного матеріалу, або попереднього пластичного деформування з'єднання і муфти з пластичного матеріалу. Застосування муфти розтягу-стиску даної конструкції може бути вигідне тільки при незначному навантаженні розтягу, наприклад, внизу колони.

За допомогою МКЕ проаналізовано напружено-деформований стан стандартного муфтового з'єднання насосних штанг діаметром 22 мм з нерівномірно і рівномірно спрацьованими муфтами. Встановлено, що глибоке нерівномірне спрацювання муфти призводить до підвищення напружень в ніпелі майже в 1,5 рази. Визначено допустиму глибину нерівномірного (5-6 мм) і рівномірного (3 мм) спрацювання муфти. Встановлено, що рівномірне спрацювання муфти підвищує її довговічність мінімум в 1,65 рази.

**В п'ятому розділі** проводиться аналіз результатів промислових випробувань обладнання для підвищення ресурсу колони насосних штанг та боротьби з СПУ: склопластикових насосних штанг, протекторів для насосних штанг, штангообертачів та розрахунок економічної ефективності цього обладнання.

Результати промислових випробувань склопластикових насосних штанг з модернізованим з'єднанням тіла з головою показали високу міцність з'єднань в умовах дії навантажень стиску. Довговічність насосних штанг в цих умовах складала

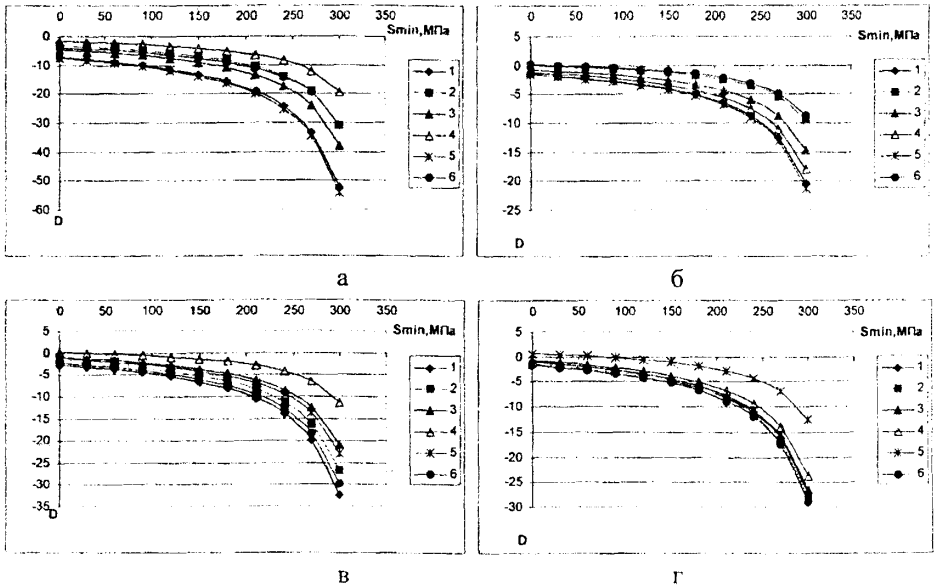


Рис. 4. Залежність коефіцієнта запасу втомної міцності від мінімального напруження в тілі штанг: в першому (а) і другому (б) радіусах зарізьбової канавки, в першій впадині різьби ніпеля (в) та останній впадині різьби муфти (г): 1 – стандартне з'єднання; 2 – з муфтою розтягу-стиску; 3 – довжина зарізьбової канавки 25 мм; 4 – довжина зарізьбової канавки 34 мм; 5 – муфта з пластичного матеріалу; 6 – попереднє пластичне деформування різьби високим зусиллям згвинчування

883-1014 діб. Руйнування відбувались по тілу, руйнувань з'єднань не спостерігали.

Випробування протекторів-скребків і штангообертачів в парафінистих свердловинах показали, що міжремонтний період свердловини збільшився з 28-60 до 140-160 діб. Кількість підземних ремонтів зменшилась в 1,8 рази.

Розроблено технічні умови на насосні штанги з скребками-протекторами (ТУ У 11.2-00135390-117-2002) і штангообертач (ТУ У 11.2-00135390-118-2002). На обладнанні СШНУ свердловинах Долинського родовища здійснено впровадження штангообертачів ОКШ-100 і насосних штанг з протекторами-скребками згідно ТУ.

Очікуваний економічний ефект при застосуванні склопластикових насосних штанг складає 82300 грн. на одну свердловину в рік.

Економічний ефект при застосуванні насосних штанг з скребками-протекторами складає 6218 грн. на одну свердловину в рік.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Вперше на основі аналізу статистичних даних по відмовах колони насосних штанг в НГВУ "Долина нафтогаз" визначені залежності частоти відмов елементів колони від таких факторів, як діаметр плунжера свердловинного насоса, довжина штангової колони, довжина секцій штанг різного діаметру, глибина обриву колони, тип відмови, газовий фактор, процент води в продукції, наявність інтенсивних

відкладів парафіну, інтервал кривизни свердловини, продуктивність свердловини, приведені напруження в точці підвісу колони. Дані залежності дозволяють проводити раціональний вибір експлуатаційних параметрів з точки зору підвищення ресурсу колони і боротьби з СПУ.

2. На основі аналізу існуючих аналогів розроблено комплекс обладнання для підвищення ресурсу колони насосних штанг та боротьби з СПУ. Запропоновані наукові принципи проектування його елементів за допомогою тривимірного параметричного моделювання і МКЕ дозволяють проводити оптимізацію конструкції і автоматизувати проектування.

Запропоновано принципи проектування, показані основні етапи проектування та розроблено конструкцію храпового штангообертача безперервної дії. За допомогою раціоналізації конструкції зуба храпового колеса максимальні напруження згину в ньому зменшено в 1,4 рази.

3. Метою раціонального вибору протекторів для конкретних умов роботи і їх удосконалення обраховані характеристики опору спрацюванню і гідродинамічні характеристики поширених протекторів.

Запропоновано принципи проектування і розроблено конструкції протекторів для легких та важких умов роботи, які відрізняються від існуючих меншим об'ємом (на 30 %), більшою площею тертя (на 23-46 %), кращими гідродинамічними характеристиками.

3. Досліджено вплив специфічних умов експлуатації, зумовлених СПУ, на характер зміни експлуатаційних характеристик елементів штангової колони та розроблено способи підвищення ресурсу склопластикових насосних штанг та муфтових різьбових з'єднань насосних штанг.

Розроблено конструкції склопластикових штанг з підвищеним ресурсом в умовах дії навантажень стиску і згину, які дозволяють обладнання колони штанг протекторами. Границя корозійної втоми таких штанг при циклічному згині збільшена в 1,5 рази.

Виявлено, що СПУ на поверхні штанг призводять до підвищення корозійної тріщиностійкості сталей, яка не менша тріщиностійкості сталі на повітрі. Тому, рекомендується не обладнувати штанги рухомими скребками при невисокій інтенсивності СПУ на тілі штанг.

Виявлено характер підвищення корозійної тріщиностійкості штангової сталі 20Н2М в корозійному середовищі 3%NaCl при статичному перевантаженні і невисокому коефіцієнті інтенсивності напружень.

Запропонована методика порівняння ефективності модернізованих муфтових з'єднань насосних штанг з точки зору запасу втомної міцності. Запропоновані зміни конструкції муфтового з'єднання підвищують в небезпечних зонах коефіцієнт запасу втомної міцності в 2-3 рази. Рекомендовані області застосування модернізованих з'єднань – низ штангової колони, викривлені ділянки свердловини, свердловини з інтенсивними СПУ.

На основі аналізу напружено-деформованого стану стандартного муфтового з'єднання насосних штанг діаметром 22 мм встановлено, що допустимою глибиною спрацювання муфти є 6 мм при її нерівномірному спрацюванні при терті об НКТ діаметром 59 мм, та 3 мм при рівномірному спрацюванні. Враховуючи це,

довговічність муфти при її рівномірному спрацюванні підвищується мінімум в 1,65 рази.

4. Вперше запропоновано метод прогнозування ресурсу штанг з тріщиною при обертанні колони в умовах дії навантажень розтягу і згину. В таких умовах і невисоких приведених напруженнях обертання колони може підвищити довговічність штанг з тріщиною в 1,5-4 рази. За допомогою МКЕ отримано формули для обчислення КІН в насосних штангах і муфтах з тріщиною, які можна використати для прогнозування їх ресурсу.

5. Проведено промислові випробування, визначено економічну ефективність і впроваджено обладнання для підвищення ресурсу колони насосних штанг та боротьби з СПУ.

Довговічність посиленних склопластикових насосних штанг в умовах підвищених навантажень стиску складала 883-1014 діб. Руйнувань з'єднань не спостерігали.

Випробування протекторів-скребків і штангообертачів в парафіністичних свердловинах показали, що кількість підземних ремонтів зменшилась в 1,8 рази.

Розроблено технічні умови на насосні штанги зі скребками-протекторами і штангообертач.

На свердловинах Долинського родовища здійснено впровадження штангообертачів ОКШ-100 і насосних штанг з протекторами-скребками згідно ТУ.

Очікуваний економічний ефект при застосуванні склопластикових насосних штанг складає 16460 у.о. на одну свердловину в рік.

Економічний ефект при застосуванні насосних штанг зі скребками-протекторами складає 6218 грн. на одну свердловину в рік.

## **ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

1. Методи прогнозування ресурсу насосних штанг. Копей Б.В., Стеліга І.І., Копей В.Б. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтогазпромислове обладнання. - Івано-Франківськ. - 1999. - № . С. 24
2. Копей Б.В., Копей В.Б., Кішакевич Л.Л., Федорович Я.Т. Аналіз конструкцій обертачів колони насосних штанг // Нафтова і газова промисловість. - 2002р. - №1. - С.40-43.
3. Копей Б.В., Копей В.Б. Аналіз конструкцій скребків і протекторів для насосних штанг // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтогазпромислове обладнання. – 2001. - №38(том 4). - С.42-52.
4. Копей Б.В., Стеліга І.І., Копей В.Б. Методи підвищення корозійно-втомної міцності насосних штанг // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтогазпромислове обладнання. – 2001. - № -С. 8-25.
5. В.Б. Копей, І.І. Стеліга. Аналіз відмов колон насосних штанг в НГВУ “Долина нафтогаз” // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2002. - № 4(5). - С.78-80.
6. Копей В.Б. Розробка и аналіз конструкцій храпових штангообертачів // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2003. - № 1(6). - С.37-40.

7. В.Б. Копей. Скінченно-елементний аналіз муфтового різьбового з'єднання насосних штанг // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Всеукраїнський щоквартальний науково технічний журнал. – 2003. - № 2(7) С.54-58.
8. Пат. UA 35751A, МПК E21B17/00, E16B11/00. Спосіб з'єднання сталльної головки з полімерно-композиційним тілом глибинонасосної штанги / Копей В.Б., Копей Б.В. Копей І.Б. - № 98042004; Заявлено 22.04.1998; Опубл. 16.04.2001. Бюл. №3. – 3с.
9. Пат. UA 49212A, МПК E21B17/10. Протектор для насосних штанг / Копей В.Б., Стеліга І.І., Копей Б.В. - № 2001075463; Заявлено 31.07.2001; Опубл. 16.09.2002. Бюл. № 9. – 2с.
10. Пат. UA 50092A, МПК E21B17/10. Протектор для насосних штанг / Копей В.Б., Копей Б.В., Петрина Ю.Д. - №2001075459; Заявлено 31.07.2001; Опубл. 15.10.2002. Бюл. № 10. – 2с.
11. Пат. UA 50093A, МПК E21B17/02. З'єднання головки насосної штанги з склопластиковим тілом / Копей В.Б., Стеліга І.І., Копей Б.В., Петрина Ю.Д. - № 2001075460; Заявлено 31.07.2001; Опубл. 15.10.2002. Бюл. №10. – 2с.
12. Пат. UA 49211A, МПК E21B17/02. Штангообертач / Копей В.Б., Копей Б.В. - № 2001075461; Заявлено 31.07.2001; Опубл. 16.09.2002. Бюл. № 9. – 2с.
13. Пат. UA 50094A, МПК E21B17/02. З'єднання сталльної головки з полімерно-композиційним тілом насосної штанги / Крижанівський Є. І., Копей Б.В., Стеліга І.І., Копей В.Б. - №2001075462; Заявлено 31.07.2001; Опубл. 15.10.2002. Бюл. № 10. – 2с.
14. Пат. UA 55847 А, МПК E21B17/04. Пристрій для герметизації муфтових з'єднань труб / Копей В.Б., Копей Б.В., Костур Б.М., Стеліга І.І. - № 2002075586; Заявлено 08.07.2002; Опубл. 15.04.2003. Бюл. № 4. – 2с.
15. Пат. UA 57203 А, МПК E21B17/04. Запобіжний пристрій для колони склопластикових насосних штанг / Копей В.Б., Стеліга І.І. - № 2001128397; Заявлено 06.12.2001; Опубл. 16.06.2003. Бюл. № 6. – 2 с.
16. Пат. UA 55848 А, МПК E21B17/02. Штангообертач / Копей Б.В., Копей В.Б., Костур Б.М. - № 2002075587; Заявлено 08.07.2002; Опубл. 15.04.2003. Бюл. № 4. – 2с.
17. Пат. UA 58828 А, МПК E21B17/04. Муфтове різьбове з'єднання насосних штанг / Копей В.Б., Петрина Ю.Д., Стеліга І.І. - № 2002118793; Заявлено 06.11.2002; Опубл. 15.08.2003. Бюл. №8. – 2с.
18. The methods of sucker rod fatigue life prediction. Kopey V.V., Steliga I.I., Kopey V.B. // Надійність машин та прогнозування їх ресурсу: Доповіді міжнародної науково-технічної конференції, (Івано-Франківськ-Яремча, 20-22 вересня 2000р.) – В двох томах. Том 1. Івано-Франківськ, ІФДТУНГ: Факел. –2000. – С. 130.
19. Копей Б.В., Стеліга І.І., Копей В.Б. Обґрунтування вибору методу прогнозування ресурсу насосних штанг // Нафта і газ України. Збірник наукових праць (матеріали міжнародної конференції "Нафта-Газ України-2000", м. Івано-Франківськ. 31 жовтня-3 листопада 2000р.), том 2, С. 309-311.
20. COST ANALYSIS OF FIBERGLASS SUCKER RODS. KOPEY Bohdan, KOPEY Volodymyr // 13<sup>th</sup> International Scient.-Techn.Conf. "New methods and technologies in petroleum geology, drilling and reservoir engineering", Cracow, 20-21 June, 2002, vol.2, P.31-36.

21. Втомне руйнування склопластикових насосних штанг при згині. Богдан Копей, Володимир Копей // Шостий міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові: Тези доповідей, (Львів, 21-23 травня 2003р.) – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2003. – С. 26.
22. Fatigue fracture and life prediction of sucker rods made of fibre-reinforced materials. Bogdan Kopey, Volodymyr Kopey // 14<sup>th</sup> international scientific-technical conference “New methods and technologies in petroleum geology, drilling, and reservoir engineering”: Abstracts (Zakopane, 11-13 June 2003). Zakopane. - 2003. - P.36.

### АНОТАЦІЯ

Копей В.Б. Підвищення ресурсу штангової колони при видобутку парафіністих нафт. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.12 – Машини нафтової і газової промисловості. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2004.

Дисертація присвячена питанню підвищення ресурсу колони насосних штанг (штангової колони) та боротьби зі смоло-парафіновими утвореннями (СПУ) при видобутку парафіністих нафт.

На основі статистичних даних по відмовам колон насосних штанг виявлено залежності частоти відмов елементів колони від основних експлуатаційних чинників. Розроблено наукові принципи раціонального проектування обладнання для підвищення ресурсу колони насосних штанг та боротьби з СПУ: протекторів для насосних штанг і штангообертачів. Запропоновано способи прогнозування і підвищення ресурсу сталевих і склопластикових насосних штанг та їх муфтових різьбових з'єднань при застосуванні цього комплексу обладнання. Проведено промислові випробування удосконалених склопластикових насосних штанг, протекторів і штангообертачів та обраховано економічну ефективність їх використання.

Розроблений комплекс обладнання пройшов промислово апробацію і впроваджений в НГВУ “Долина нафтогаз”.

Ключові слова: колона насосних штанг, смоло-парафіністі утворення, протектор для насосних штанг, штангообертач, склопластикова насосна штанга, муфтове з'єднання насосних штанг.

### АННОТАЦИЯ

Копей В.Б. Повышение ресурса штанговой колонны при добыче парафинистых нефтей. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.12 – Машины нефтяной и газовой промышленности. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, 2004.



Диссертация посвящена вопросу повышения ресурса колонны насосных штанг (штанговой колонны) и борьбы со смоло-парафиновыми образованиями (СПО) при добыче парафинистых нефтей.

На основе статистических данных по отказам колонн насосных штанг выявлены зависимости частоты отказов элементов колонны от основных эксплуатационных факторов. Разработаны принципы рационального проектирования оборудования для повышения ресурса колонны насосных штанг и борьбы со СПО: протекторов для насосных штанг и штанговращателей. Предложены способы прогнозирования и повышения ресурса стальных и стеклопластиковых насосных штанг и их муфтовых резьбовых соединений при применении этого комплекса оборудования. Проведены промышленные испытания усовершенствованных стеклопластиковых насосных штанг, протекторов и штанговращателей и оценена экономическая эффективность их использования.

Разработанный комплекс оборудования прошел промышленную апробацию и внедрен в НГДУ "Долинанафтогаз".

**Во вступлении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна и практическое значение полученных результатов.

**В первом разделе** проведен анализ условий работы и причины отказов элементов колонны насосных штанг, анализ конструкций современных штанговращателей, протекторов и стеклопластиковых штанг и сделана оценка методов прогнозирования ресурса насосных штанг.

Показано, что наиболее перспективным методом повышения ресурса колонны насосных штанг и борьбы со СПО является применение комплекса оборудования на основе храпового штанговращателя, скребков-протекторов, стеклопластиковых насосных штанг и протекторных штанговых муфтовых соединений. Показана необходимость усовершенствования этого оборудования и разработки принципов его рационального проектирования с точки зрения повышения ресурса. Установлено, что для прогнозирования ресурса элементов колонны с трещинами наиболее эффективна методика оценки остаточного ресурса по параметрам трещиностойкости.

**Во втором разделе** приведена методика исследования статического и усталостного разрушения стеклопластиковых насосных штанг и муфтовых соединений с неравномерно изношенными муфтами, методика определения трещиностойкости сталей для насосных штанг в коррозионной среде, в условиях СПО и при статических перегрузках.

**В третьем разделе** с помощью метода конечных элементов (МКЭ) выполнен анализ напряженно-деформированного состояния храповых механизмов для штанговращателей, гидродинамических характеристик современных протекторов, предлагаются принципы проектирования с помощью параметрического трехмерного моделирования и МКЭ оборудования для повышения ресурса колонны насосных штанг и борьбы с СПО. Рационализирована конструкция храпового штанговращателя и протекторов для тяжелых и легких условий работы.

В четвертом разделе рассматриваются вопросы прогнозирования и повышения ресурса стальных и стеклопластиковых насосных штанг и их муфтовых резьбовых соединений.

Обнаружен характер изменения механических характеристик стеклопластиковых насосных штанг после двух лет их эксплуатации, влияние СПО и статических перегрузок на коррозионную трещиностойкость стали 20Н2М, определены пределы коррозионной усталости обычных и усиленных стеклопластиковых штанг при циклическом изгибе. На основе испытаний опытных образцов и МКЭ найдены оптимальные параметры прессового соединения тела стеклопластиковой штанги с головкой. Предложен метод прогнозирования остаточного ресурса штанг и муфт с трещиной, в том числе при вращении штанговой колонны. Предложены способы повышения усталостной прочности и сопротивления износу муфтовых соединений насосных штанг. Предлагается методика сравнения эффективности модернизированных муфтовых соединений с точки зрения запаса усталостной прочности.

В пятом разделе проводится анализ результатов промышленных испытаний оборудования для повышения ресурса колонны насосных штанг и борьбы с СПО: стеклопластиковых насосных штанг, протекторов для насосных штанг, штанговращателей и расчет экономической эффективности этого оборудования.

Ключевые слова: колонна насосных штанг, смоло-парафиновые образования, протектор для насосных штанг, штанговращатель, стеклопластиковая насосная штанга, муфтовое соединение насосных штанг.

## THE SUMMARY

Kopey V.B. Sucker rods column life increase during production of oil with paraffine - Manuscript.

The dissertation on getting a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.05.12 - Machine of a petroleum and gas industry. - Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas, Ivano-Frankivsk, 2004.

The dissertation is devoted to a question of sucker rods column life increase and struggle with paraffin build-up during production of oil with paraffin content.

On the basis of the statistical data on failures of sucker rods column the dependences of failures intensity of a sucker rods column elements on the different operational factors are revealed. The principles of rational design of the equipment for increase of a resource of a sucker rods column and struggle with paraffin build-up are developed: protectors for sucker rods and rod rotators. The ways of prediction and increase of a steel and fiberglass sucker rods life and their threaded connections are offered for application in this complex of the equipment. The industrial tests of fiberglass sucker rods, protectors and scrappers for sucker rods as well as rod rotators for continuous rotation are carried out and the economic efficiency of their application is appreciated.

The developed complex of the equipment has passed industrial approbation and is introduced in petroleum company "Dobroslavskoye".

**Key words:** sucker rods column, rotator, threaded and pressure connection

protector for sucker rods, rod rotators.

