

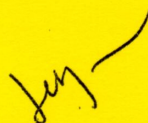
622.242  
Г52

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
НАФТИ І ГАЗУ

ГЛАДКИЙ СЕРГІЙ ІВАНОВИЧ

УДК 622.242.6-192

**ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ВУЗЛА ШТОК - УЩІЛЬНЕННЯ ШТОКА  
ДВОПОРШНЕВИХ БУРОВИХ НАСОСІВ**



Спеціальність 05.05.12 – Машини нафтової і газової промисловості

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

ІВАНО-ФРАНКІВСЬК – 2007

Дисертацією є рукопис.

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

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент **Парайко Юрій Іванович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, доцент кафедри нафтогазового обладнання.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор **Дрогомирецький Ярослав Миколайович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, професор кафедри зносостійкості та відновлення деталей машин;

кандидат технічних наук **Бучинський Мирослав Яремович**, закрите акціонерне товариство «Іваст» (м. Полтава), начальник науково-дослідницького центру.



Захист відбудеться 2 жовтня 2007 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією  
національного  
Франківськ, ву

анківського  
м. Івано-

Автореферат р

Вчений  
спеціал  
кандиде

О.В.



## АГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Вимоги, поставлені на сучасному етапі розвитку науки і техніки до експлуатаційних характеристик та ремонту різноманітних деталей і вузлів бурових та нафтопромислових машин, спричинюють необхідність ширшого використання нових прогресивних технологій виготовлення, зміцнення та відновлення.

У різних галузях народного господарства, особливо таких як нафтогазова промисловість, значна кількість деталей машин працює в умовах комплексної дії високих статичних і динамічних навантажень у присутності абразиву і промивної рідини під високим тиском. У зв'язку з цим велике значення має забезпечення захисту поверхонь деталей від зношування.

Довговічність насосного обладнання бурових установок в значній мірі залежить від досконалості конструкції вузлів і деталей, зносостійкості робочих поверхонь, оптимальності застосування зміцнюючих технологій. До напрямків підвищення зносостійкості робочих поверхонь, які найбільш інтенсивно розвиваються в галузі захисних покриттів, відносяться методи наплавлення і напилення, причому газотермічне нанесення порошкових композиційних покриттів є одним із найбільш перспективних.

Формування покриття за допомогою технології газотермічного напилення плазмовим методом вигідно відрізняється від інших технологій нанесення покриттів, оскільки дає змогу наперед задавати необхідні характеристики напилюваного шару, формувати шари товщиною до 1...4 мм на виробках різних форм і розмірів, їм властива висока міцність, зносостійкість, корозійна стійкість тощо. Такі переваги відкривають перспективи широкого застосування металевих сплавів для захисту конструкційних матеріалів від зносу та корозії.

Однак, впровадження зносостійких покриттів стримується в зв'язку з нестачею науково обгрунтованих рекомендацій з їх продуктивності, встановлення оптимальних режимів їх одержання і визначення галузей застосування. Тому вирішення завдання підвищення довговічності вузла шток-ущільнення штока бурових насосів за рахунок сучасної технології газотермічного напилення та вдосконалення його конструкції є актуальним і потребує подальшого розвитку.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота над дисертацією виконувалась у рамках державної науково-технічної програми ДКНТ України 05.52.06/151-94 „Розробка та впровадження ефективних методів зміцнення та відновлення деталей вузлів тертя” комплексного проекту 04.05.06/001к-95 за програмою 04.05 „Підвищення надійності і довговічності машин і конструкцій”, а також розділу “Нові технології подовження ресурсу та підвищення ефективності роботи циркуляційної системи мобільної установки для буріння і ремонту свердловин важкопідйомністю 780-1470 кН” в рамках проекту “Розробка нових технологій подовження ресурсу та підвищення ефективності роботи нафтогазового обладнання” (№ держреєстрації 0104U004087) Міністерства освіти і науки України.

**Мета роботи.** Метою даної роботи є підвищення довговічності вузла шток-ущільнення штока бурового насоса в складних умовах експлуатації із

застосуванням технології газотермічного напилення.

**Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:**

1. Уточнити комплексну дію силових чинників з врахуванням кінематичних характеристик бурового насоса і їх вплив на характер і закономірності зношування вузла шток - ущільнення штока.

2. Запропонувати оптимізовану технологію зміцнення (відновлення) поверхні зношування штоків.

3. Провести комплексні дослідження порошоків і газотермічних покриттів одержаних за оптимізованою технологією плазово-дугового напилення порошоків композиційних матеріалів.

4. Розробити програму і методику проведення комплексу досліджень з вибору зносостійких газотермічних покриттів для підвищення довговічності вузла шток - ущільнення штока.

5. Спроекувати стенд, провести експериментальні дослідження рухомих з'єднань типу ущільнення-шток в хімічно-активних та абразивних середовищах та випробування в промислових умовах.

6. Удосконалити конструкцію ущільнення штока.

**Об'єктом досліджень** є швидкозношуваний вузол шток-ущільнення штока бурових насосів, що працює при зворотно-поступальному русі.

**Предмет досліджень** – підвищення довговічності деталей вузла шток - ущільнення штока гідравлічної частини бурових насосів.

**Методологія та методи досліджень** – представляють комплекс, який містить аналіз досвіду експлуатації вузлів насосного обладнання, що працюють при зворотно-поступальному русі; математичне планування експериментів; лабораторні експерименти; фізичне та математичне моделювання з використанням засобів обчислювальної техніки; сучасні методи оцінки параметрів стану поверхневого шару і деталей, зокрема, растрову електронну мікроскопію, спектральний мікроаналіз, вторинну електронну мас-спектрологію.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Вперше науково встановлено, що довговічність роботи вузла шток-ущільнення штока бурового насоса в значній мірі залежить не тільки від комплексної дії агресивного та абразивного середовища, а й від кінематичних характеристик рухомих частин та навантажень в насосі, що призводить до низького терміну служби.

2. Вперше теоретично та експериментально обґрунтовано доцільність застосування газотермічних плазових композиційних порошоків покриттів для підвищення довговічності робочої поверхні штоків бурових насосів.

3. Науково обґрунтовано оптимальні режими зміцнення робочої поверхні штоків бурового насоса методом плазово-дугового напилення.

**Практичне значення одержаних результатів.**

1. Наукові результати роботи стали основою для розробки технологічного процесу плазово-дугового напилення покриттів із композиційних порошоків. У результаті оптимізації режимів прогресивної технології плазово-дугового напилення визначені раціональні режими нанесення покриття на робочі поверхні зношування штоків бурових насосів.

2. Отримані результати дозволяють забезпечити необхідний рівень довговічності бурового насоса завдяки обґрунтованому вибору зносостійких композиційних матеріалів для плазмово-дугового напилення штоків.

3. Основні теоретичні положення роботи і її методичні розробки доведені до практичного впровадження, а саме „Програма і методика”, прийняті до використання у відділі головного інженера воснізованої аварійно-рятувальної (газорятувальної) служби "Лікво" нафтогазової промисловості НАК "Нафтогаз України".

4. Методологічний підхід, запропонований автором, дає можливість на основі попередньої інформації вибрати найбільш ефективний матеріал захисного покриття, оцінити можливість забезпечення потрібних параметрів стану поверхневого шару покриття, забезпечити підвищення працездатності виробів із покриттям.

5. Для реалізації умови зменшення кількості абразивних частинок на вході у вузол шток – ущільнення штока, запропоновано встановлювати вібраційний очищувач, який коливається в рідині по нормалі до своєї вісі і створює інтенсивні циркуляційні потоки, які відривають частинки, що осідають на поверхню штока, не допускає абразив в ущільнення, що підвищує довговічність роботи даного вузла.

6. Основні практичні результати роботи використані при розробці лабораторних занять з дисциплін, що читаються кафедрою нафтогазопромислового обладнання ІФНТУНГ: „Рациональна експлуатація бурових і нафтогазопромислових машин”, „Монтаж і ремонт бурового обладнання”, при проведенні занять з підвищення кваліфікації інженерних працівників галузі.

#### **Положення, що виносяться на захист.**

1. Методика та розроблений стенд для проведення випробувань вузла шток-ущільнення штока на зношування при зворотно-поступальному русі.

2. Доцільність застосування газотермічних плазмових композиційних порошкових покриттів для підвищення довговічності робочої поверхні штоків бурових насосів.

3. Методологічний підхід до вибору оптимального матеріалу захисного покриття, який дає можливість забезпечення потрібних параметрів стану поверхневого шару покриття і підвищення працездатності виробів.

#### **Особистий внесок здобувача.**

Основні положення дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані самостійно. У сумісних роботах здобувач брав участь в розробці основної ідеї, проведенні експериментів та підготовці матеріалів до опублікування.

Здобувачеві належить: в [1] - розроблення заходів збільшення довговічності вузлів типу ущільнення – шток, циліндр-плунжер бурових і нафтопромислових насосів, де особистий внесок здобувача складає 100%; в [2] - дослідження структури, фазового складу та властивостей газотермічних покриттів одержаних за оптимізованою технологією напилення порошкових композиційних матеріалів, 100%; в [3] - розроблено математичну модель визначення силових навантажень в кінематичних ланках кривошипно-повзунного механізму бурового насоса двосторонньої дії, 30%; в [4]-розроблення вібраційного брудознімача для реалізації умови збільшення довговічності вузла ущільнення-шток бурового двопоршневого насоса, 40%; в [5] - розроблення установки для проведення експериментальних досліджень вузлів типу ущільнення – шток на тертя та зношування деталей, що працюють при зворотно-

поступальному русі, 40%; в [6] - проведення аналізу причин виходу з ладу та дослідження механізму зношування в межах границі тертя вузлів типу ущільнення-шток бурового насоса, 40%; в [7] - аналіз довговічності деталей гідравлічної частини насосів, що використовуються в нафтогазовій галузі, 30%; в [8] – аналіз та результати експериментальних досліджень зміцнених за розробленою технологією плазмово-дугового зміцнення порошковими композиційними матеріалами поверхонь пари тертя шток-ущільнення бурового насоса, 65%; в [9] – розроблення концепції підвищення надійності вузлів тертя газонафтопромислового обладнання, 55%; в [10] - розроблення технології зміцнення робочої поверхні штока нанесенням плазмових порошкових покриттів, 65%; в [11] - проаналізовано методи та визначені напрями підвищення довговічності деталей гідравлічної частини бурових насосів, 25%; в [12] – оптимізація технології зміцнення робочої поверхні штока нанесенням плазмових порошкових покриттів за допомогою математичного планування експерименту, 60%; в [13] - дослідження структури і фізико-хімічних властивостей плазмових порошкових покриттів, 100%.

Окремі положення дисертаційної роботи включені в навчально-методичні посібники для спеціальностей 7.090217 „Обладнання нафтових і газових промислів”.

**Апробація роботи.** Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на міжнародних конференціях і форумах: III-й науково-технічній конференції "Проблеми підвищення износостойкости газонефтепромыслового оборудования" (м. Москва, 1994), міжнародній конференції "Міцність і надійність конструкцій нафтового обладнання" (м. Івано-Франківськ, 1994), 2-му міжнародному симпозіумі українських інженерів-механіків у Львові (м. Львів, 1995), VI-й міжнародній науково-технічній конференції (м. Запоріжжя, 1995), науково-практичній конференції "Стан, проблеми і перспективи розвитку нафтогазового комплексу західного регіону України" (м. Львів, 1995), координаційній науково-технічній нараді "Автоматизація нафтогазовидобувної галузі та підвищення довговічності нафтового обладнання" (Київ – Івано-Франківськ, 1995), науково – практичній конференції "Нафта і газ України – 96" (м. Харків, 1996), науково-практичній конференції професорсько-викладацького складу ІФДТУНГ (м. Івано-Франківськ, 1996), на семінарах кафедри нафтогазового обладнання та міжкафедральному науковому семінарі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 11 праць у наукових журналах, збірниках, тезах доповідей, з яких 3 статті у фахових виданнях України та одержано 2 патенти України на винахід.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел із 121 найменування. Повний обсяг дисертації викладений на 180 сторінках машинописного тексту. Робота містить 10 таблиць, 50 рисунків та 4 додатки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

**ВСТУП** містить обґрунтування та актуальність теми, формулювання мети і задач дослідження, визначення об'єкту і предмету дослідження, методологію досягнення результатів, їх наукову новизну та практичне використання, особистий внесок дисертанта, апробацію роботи, її структуру та обсяг.

**У ПЕРШОМУ РОЗДІЛІ** на основі літературних джерел, серед яких результати досліджень таких науковців, як А.С.Ніколич, В.М.Літвінов, Я.С.Мкртчян, О.І.Верзілін, С.Г.Бабаєв, А.А.Петросянц, І.Ф.Концур, В.І.Шпиков, І.Д.Лівак, М.З.Левицький, а також зібраних статистичних матеріалів про зношування однієї з основних систем бурових і нафтопромислових насосів – системи ущільнення-шток, яка багато в чому визначає працездатність машини в цілому, встановлено види та характер зносу, причини їх виникнення. Експлуатаційна надійність досліджуваної системи, яка працює в умовах динамічних навантажень, значній абразивності та агресивності середовищ, в значній мірі залежить від стану поверхневого шару, сформованого в результаті виготовлення.

Проаналізовані основні методи одержання захисних покриттів досліджуваного вузла бурових і нафтопромислових насосів. Проілюстровані недоліки існуючих технологій зміцнення робочої поверхні штока.

Встановлено, що висока зносостійкість робочої поверхні штока може бути досягнута одержанням поверхневих структур, які забезпечать підвищення експлуатаційної надійності і довговічності системи ущільнення-шток. До перспективних методів нанесення покриттів належить високотемпературне плазово-дугове напилення композиційними порошковими матеріалами. Оптимальність при виборі технологічних параметрів напилення та властивості порошоків гарантуватиме потрібний рівень формування поверхні для конкретних експлуатаційних вимог.

**У ДРУГОМУ РОЗДІЛІ** проаналізовано методики та обладнання для дослідження вузлів, що працюють при зворотно-поступальному русі. В запропонованій методиці проведення експериментальних досліджень розроблені рекомендації, що дозволяють визначати характер руйнування зразків вузла шток-ущільнення штока, оптимальні і максимально допустимі навантаження, коефіцієнт тертя, вплив хімічного та абразивного середовища (бурові розчини з абразивом) на зносостійкість зразків.

Проаналізовано сучасні тенденції в галузі вивчення явищ тертя і зношування. Результати досліджень пар тертя на зношування при зворотно-поступальному русі гідравлічної частини насосів, які проведені в роботах Левицького М.З., Мкртчяна Я.С., Терцунова В.А., Геркулова Д.Н., Костецького В.І., Бабаєва С.Г. та інших відомих вчених, показують, як правило, лиш зовнішні ознаки видів зношування без глибокого аналізу умов його виникнення. Поряд з цим широкий спектр явищ, які супроводжують процеси тертя і руйнування досліджено в недостатньому об'ємі. Недоліками існуючих стендових установок є недостатня відтворюваність та інформативність методів, що покладені в основу досліджень.

Обґрунтовано необхідність та розроблено конструкцію дослідного стенду. Для наближення до натурних умов роботи (з урахуванням динаміки роботи досліджуваних пар тертя), стабілізації параметрів тертя та виявлення явищ, які супроводжують процес зношування вузла типу ущільнення - шток розроблено і виготовлено стенд (рис. 1). Стенд дозволяє моделювати умови експлуатації з урахуванням основних чинників зношування - швидкість ковзання, питомі тиски з різними законами зміни, наявність абразиву та ін.

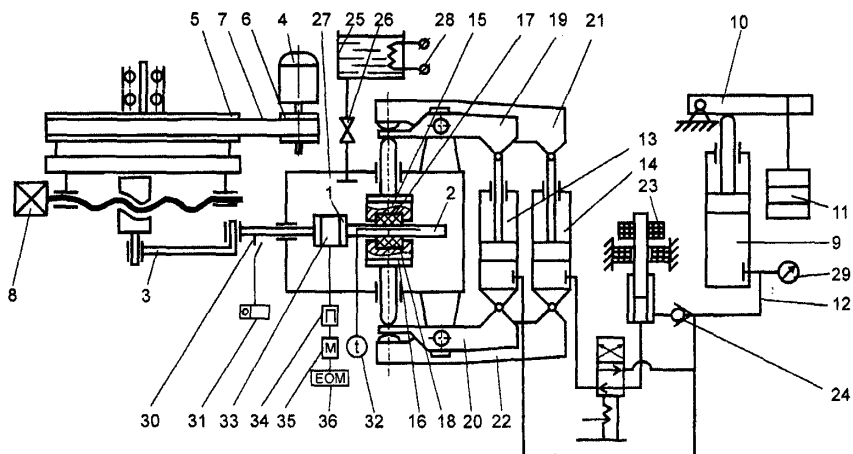


Рис. 1. Схема стенда для випробувань вузла шток-ушільнення штока на зношування

Стенд для проведення лабораторних експериментальних досліджень складається з рами, привідної частини та систем змінного нормального навантаження, подачі середовища випробування, контрольно-вимірювальних приладів та інформаційного забезпечення.

Привідна частина включає тримач 1 рухомого зразка 2 пари тертя, кривошипно-шатунний механізм 3, кривошип якого приводиться в обертання від двигуна 4 через клинопасову передачу (шків 5, 6, клиновий пас 7). Регулювання довжини ходу зразка 2 здійснюється за допомогою гвинтової пари 8.

Система змінного нормального навантаження, що дозволяє створювати натурні умови роботи пари тертя, складається з силового гідроциліндра 9 шток якого через важіль 10 навантажується змінним вантажем 11, а поршень створює через магістраль 12, два гідроциліндра 13 і 14, два симетрично розташованих тримача 15 і 16 гумові нерухомі зразки 17 і 18, нормальне навантаження на рухомий зразок 2. Гідроциліндр 13 через коромисла 19, 20 здійснює постійне навантаження на рухомий зразок, а гідроциліндр 14 через коромисла 21 і 22 - додаткове навантаження (за заданим законом зміни) при ході зразка 2 в одну сторону, що забезпечується електрогідравлічним підсилювачем 23 із клапаном зворотної дії 24.

Система подачі середовища випробування складається з бака 25, який магістраллю з'єднаний через вентиль 26 із ванною 27, тена для підігріву флюїду 28.

Система контрольно-вимірювальних пристроїв та інформаційного забезпечення дає можливість контролювати: тиск масла в магістралі 12 за допомогою взірцевого дифманометра 29; кількість подвійних ходів рухомого зразка 2 за допомогою кінцевого вимикача 30 та лічильника імпульсів 31;



температуру в зоні тертя за допомогою термопари 32, встановленої в рухомому зразку. Встановлена тензOMETрична балка 33, сигнал з якої через тензOMETричний підсилювач 34 поступає на багатоканальний модуль введення аналогової інформації 35, дає можливість за допомогою ЕОМ 36 одержати інформаційно-числові параметри динаміки та інтенсивності процесу зношування досліджуваних вузлів. Багатоканальний модуль введення аналогової інформації 35 призначений для послідовного опитування стандартних сигналів первинних перетворювачів (в т.ч. з тензOMETричного підсилювача), одержання відповідних цифрових відліків та реєстрації цифрової інформації у вигляді файлів на твердому диску персонального комп'ютера.

**У ТРЕТЬОМУ РОЗДІЛІ** розроблено оптимізовану технологію нанесення плазмових порошкових покриттів на шток бурового насоса.

При розробці технології нанесення захисного порошкового покриття плазмовим методом на шток бурового насоса враховувалось, що при одержанні оптимального покриття має вплив кожен етап (рис. 2) створення покриття, починаючи від вибору матеріалу пари покриття - основа, підготовки поверхні деталі, технологічних дій в процесі напilenня і, закінчуючи обробкою покриття.

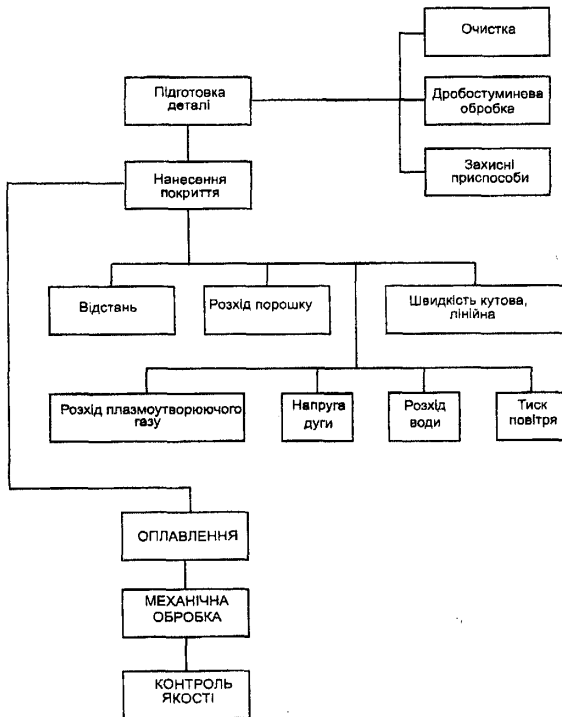


Рис. 2. Технологічна схема порошкового плазмового зміцнення.

Нанесення порошкових покриттів проводилось на плазмотроні 15ВВ-02 (Київ-7), що призначений для механізованого напилення покриттів з порошкових керамічних і металічних матеріалів, самофлюсуючих твердих сплавів. Для напилення вибрано композиційні порошки типу ПГ-10Н, ПГ-СР (самофлюсуючі на основі нікелю), основа – сталь 40Х.

Для нанесення покриттів на установці «Київ-7» використовувався плазмоутворюючий газ - суміш повітря і пропан-бутану. Додавання горючого газу до повітря дозволяє суттєво збільшити продуктивність напилення, тобто в 2-3 рази підвищити ефективність енергії плазмового струменю. Діапазон витрати плазмоутворюючого газу складав 5-5,5 м<sup>3</sup>/год. Потужність плазмотрону - 52 кВт. Спосіб подачі порошку – в канал.

При аналізі умов формування порошкових покриттів ключовим моментом є встановлення механізму фізико-механічних процесів, що призводять до утворення зчеплення покриття з основою і міжчастинкових зв'язків. Оптимізуючи процес напилення, міцність зчеплення покриття з основою розглядалось як властивість першого порядку, так як тільки при умові забезпечення його необхідного рівня має зміст визначати інші характеристики.

Виходячи з того, що ймовірність впливу різних параметрів на входні характеристики одержуваних покриттів неоднакова, неоднакові і закони розподілу ймовірностей для технологічних чинників. Стохастична природа дії цих чинників враховувалась за допомогою статистичних методів планування експерименту.

Шляхом математичного планування чотирифакторного експерименту робочий режим оптимізований за міцністю зчеплення напилюваного шару порошку для зразків із сталі 40Х.

Параметром оптимізації  $Y$  було вибрано міцність зчеплення покриття з основою  $\sigma_3$  (МПа), яку визначали відривом конічного штифта. Варіювали наступні фактори:  $X_1$  - дистанція напилення,  $X_2$  - температура підкладки,  $X_3$  - товщина напилюваного шару,  $X_4$  - сила струму. Рівні і інтервали варіювання вибирались на основі проведених дослідів і існуючої інформації. Реалізовані матриці планування дробового факторного експерименту типу  $2^{4-1}$ . Після виключення факторів з незначимими коефіцієнтами проводилась перевірка одержаної моделі.

Оцінка значимості вирахованих коефіцієнтів (з відповідною довірчою ймовірністю 0,95) регресії з використанням  $t$  - статистики з вибірковим розподілом Ст'юдента дозволила відібрати модель з лінійними ефектами  $X_1$  і  $X_2$  та одною взаємодією  $X_2X_3$ .

Модель із значимими коефіцієнтами при кодованих змінних мала вигляд:

$$Y = 19,6125 - 0,2625X_1 + 1,3375X_2 - 0,0375X_2X_3$$

Одержане рівняння регресії використано для розрахунку оптимальних режимів плазмового напилення самофлюсуючими порошковими матеріалами, необхідних для отримання відповідної якості робочої поверхні штока бурового насоса.

**У ЧЕТВЕРТОМУ РОЗДІЛІ** представлені дослідні та експериментальні результати підвищення надійності вузла ущільнення-шток бурових насосів.

Проведені комплексні дослідження структури, фазового складу та властивостей газотермічних покриттів, одержаних за розробленою оптимізованою технологією плазово-дугового напилення. Відомо, що формування покриття при газотермічному напиленні проходить в умовах надвисоких швидкостей охолодження (100-10000 град/с) напилюваного матеріалу, велика номенклатура порошків з розмаїттям їх властивостей, що є одними із основних чинників, які затrudняють вибір оптимальних режимів напилення. В літературних джерелах відсутні якісні і кількісні характеристики композиційних порошків, одержаних з них напилених шарів. Тому дослідження структурних особливостей напилених порошкових матеріалів, їх фазові перетворення представляють науковий і практичний інтерес.

Металографічний, хімічний аналізи проводились на растровому мікроскопі BS-340 методом скануючої електронної мікроскопії. Мас-спектральний склад поверхні покриттів досліджували методом мас-спектрометрії вторинних іонів. Фазовий склад на растровому мікроскопі JSM-T300. Зразки для проведення досліджень запресовувались в бакелітовий корпус за допомогою пресу PRONTOPRESS-2 з діаметром матриці 1 дюйм, поверхня шліфа піддавалась карбонуванню у вакуумі для скануючої мікроскопії.

Дослідження проводились на установках технічного університету RWTH (Rheinisch-Westfalische Technischen Hochschule) м. Аахен /Німеччина/.

Були вивчені гранулометричний і фазовий склад порошкових матеріалів, їх плинність, а також структура, фазовий склад та твердість напилених композиційних шарів.

З метою підбору оптимального складу напилюваного покриття, використовували порошки промислового виробництва декількох типів – ПП-10Н-01, ППСР-4, ПКХ 27Ю7СЗИ (ТУ 48-19-383-86), оскільки вони мають близький склад з основою, високі експлуатаційні властивості без спеціальної термічної обробки та низький рівень напружень у покриття. Як показали дані рентгенофазового аналізу досліджувані порошки системи Ni-Cr-B-Si є багатофазною евтектичною структурою, яка складається з  $\gamma$ - твердого розчину на основі нікелю ( $\gamma$ - фази), бориду нікелю  $Ni_3B$ , силіциду типу  $Ni_5Si_2$ , бориду CrB, карбиду  $Cr_7C_3$ .

Дані мікрорентгеноспектрального аналізу свідчать про досить складний фазовий склад одержаних покриттів, який в цілому не відрізняється від складу фазового складу напилюваного порошку. Основу покриттів складає перенасичений твердий розчин нікелю, який ідентифіковано. В незначній кількості визначається вміст  $Ni_3B$ ,  $CrB_2$  і розпізнаються приблизно складні з'єднання металів-компонентів  $Cr_2B$ ,  $Cr_2Ni_3B_6$ ,  $Cr_2Ni_3Si_2$ ,  $Ni_{14}Cr_6Si_7$ . Рівномірно розташована в об'ємі дисперсна фаза поряд з конгломератами включень на поверхні крапель вносить істотний вклад у збільшення мікротвердості покриттів, яка у вихідному стані досягає  $8500 \pm 50$  МПа. Як показали дані рентгенофазового аналізу досліджувані порошки системи Ni-Cr-B-Si є багатофазною евтектичною структурою, яка складається з  $\gamma$ - твердого розчину на основі нікелю ( $\gamma$ - фази), бориду нікелю  $Ni_3B$ , силіциду типу  $Ni_5Si_2$ , бориду CrB, карбиду  $Cr_7C_3$ .

Застосований метод напилення забезпечив достатньо повний перенос в покриття всіх легуючих елементів, що входили в склад напилюваного порошку (Mn, Cr, Ni). Результати хімічного аналізу складу покриття показали збільшення масового вмісту домішок елементів впровадження – до 2 % С, 3,5 % O<sub>2</sub>, 0,1-0,3 % N<sub>2</sub>.

Випробування на тертя та зношування здійснювалось на стенді зворотного-поступального руху за розробленою методикою. Для порівняння за аналогічними програмами випробувані плазмові покриття, напилені самофлюсуючим порошком типу ПГ-10Н-01, і зразки із сталі 40Х зміцнені СВЧ за стандартною технологією. Товщина плазмових покриттів після доводки складала 0,15-0,20 мм. Враховуючи вимоги до пари тертя шток-ущільнення бурового насоса, вихідна шорсткість поверхонь усіх металевих зразків була однаковою і складала Ra=0,4.

Трибовипробування проводились в буровому розчині та воді при чотирьох різних питомих тисках – 5, 10, 15, 20 МПа.

Сила тертя та температура поверхні тертя металевого зразка фіксувались одразу ж після пуску установки, а в подальшому через кожну годину випробувань. Так, після 4-5 год., коли тертя носило стабільний характер, вже мало місце схоплювання поверхонь тертя, про що свідчать різкі сплески сили тертя, майже в 1,5 - 2 рази. Це свідчить, що в процесі зношування дослідних поверхонь вже складаються умови адгезійного схоплювання, які і викликають різке збільшення сили тертя. Після 30 годин випробувань, при одному постійному навантаженні в умовах одного досліду, спостерігались значні коливання сили тертя, її абсолютна величина сильно змінювалась. З порівняльних діаграм (рис.3) видно, що при терті поверхні напиленої за розробленою технологією сила тертя за однаковий час випробувань менша.



Рис. 3. Порівняльні діаграми зміни сил тертя при дослідженнях у буровому розчині в процесі випробувань (P=10 МПа) через 60 годин випробувань.

Кількісне порівняння зношування гумових зразків при дослідженнях у глинистому буровому розчині показує, що при питомому тиску 5 МПа зношування менше в 1,3-1,4 рази. При питомих тисках 10-15 МПа різниця в зношуванні значно збільшується. Так, при терті гумових зразків по напиленій сталі зношування в 2,2-2,4 рази менше, ніж по сталі 40Х зміцненій СВЧ.

На рис. 4. наведені залежності фрикційних характеристик (температури в зоні контакту та коефіцієнта тертя) матеріалів досліджуваної пари від кількості циклів. На початку фрикційної взаємодії (до 500 циклів зворотно-поступального руху) спостерігалось значне зростання коефіцієнта тертя і тепловиділення до температури 340-350 К, що супроводжувалось зростанням інтенсивності зношування матеріалів спряження. Зі збільшенням кількості циклів зворотно-поступального руху наступало поступове зниження цих характеристик. Однак, при випробуваннях у воді зниження втрат на тертя відбувалося повільніше, ніж у буровому розчині. Подальше збільшення кількості циклів навантажень призводило до реалізації періоду стабілізації фрикційних характеристик і зниження зношування.

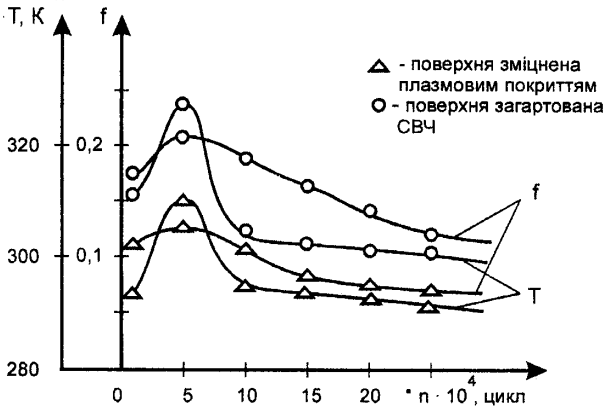


Рис. 4. Температура та коефіцієнт тертя при дослідженнях на буровому розчині пар гума-сталь 40Х напилена композиційним порошком ПГ-10Н-01 та гума-сталь 40Х загартована СВЧ в залежності від кількості циклів зворотно-поступального руху,  $P=15$  МПа.

Аналіз фрикційних властивостей показує вплив бурового розчину на характеристики тертя і зношування пари гума - метал. Тертя у воді в порівнянні із тертям у буровому розчині супроводжується підвищеним зношуванням сталейних і гумових контрзразків, хоча різниця в інтенсивності зношування проявлялась при 1000-2000 циклах і характерна для періоду припрацювання.

В період стабільної роботи інтенсивність зношування має менше значення в парі із зразками з плазмовим покриттям за рахунок більшої твердості останніх (рис. 5). Висока пластичність і достатня міцність покриття, його здатність зміцнюватись при терті, присутність стійких до зношування карбідів забезпечують високу зносостійкість плазмово-дугового покриття, в порівнянні із зміцненою СВЧ сталі 40Х.

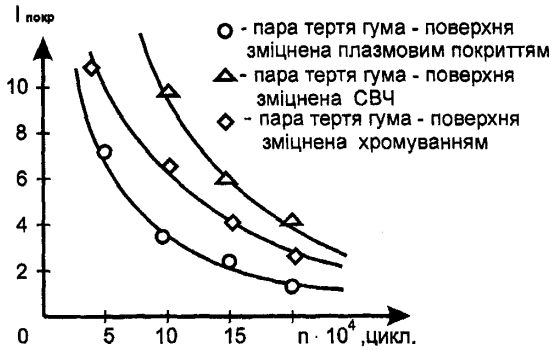


Рис. 5. Залежності інтенсивності зносу металічних зразків із сталі 40X зміцнених СВЧ, хромуванням та плазмовим порошковим покриттям ПГ-10Н-01 від кількості циклів випробувань в буровому розчині,  $P=15$  МПа.

Промисловими випробуваннями проведеними в умовах Івано-Франківської експедиції Прикарпатського УБР ВАТ "Укрнафта" підтверджено результати стендових випробувань. Встановлено, що наробіток штоків зміцнених за розробленою технологією плазмового зміцнення в 1,6-1,68 рази більший, ніж штоків серійного виробництва, робоча поверхня яких зміцнена СВЧ.

Проведені дослідження дозволили зробити висновок про те, що найбільшою зносостійкістю в умовах роботи штока бурового насоса (при роботі в бурових розчинах) володіють поверхні, які поєднують в собі високу мікротвердість і підвищену корозійну стійкість в абразивомістких середовищах.

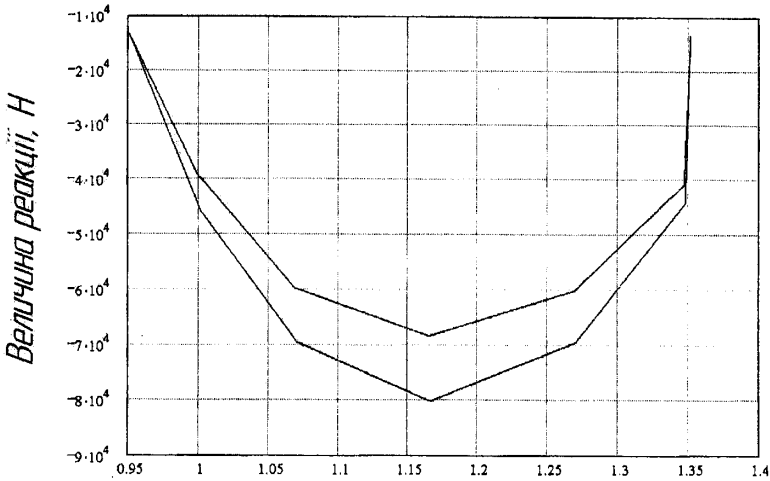
Особливістю вузла ущільнення штока бурових та нафтопромислових насосів, які представляють із себе пару тертя гума – тверде тіло є те, що деталі рухаються поступально відносно одна одної; працюють у важких експлуатаційних умовах: динамічних навантажень, підвищених температур; агресивного і абразивного середовища; в процесі тертя відбувається складний фізико-хімічний процес, внаслідок якого здійснюється руйнування манжет ущільнень і зношування штока.

Механізм зношування ущільнень і штоків бурових насосів досить складний і, в основному, визначається комплексом фізико-механічних властивостей і геометричними характеристиками. В зв'язку з цим необхідно вияснити причини, що спричиняють інтенсифікацію процесу зношування, і їх вплив на зношування як металевих, так і гумових деталей вузла ущільнення-шток бурового насоса.

З метою виявлення умов, що передують виникненню інтенсивного зносу вузла ущільнення-шток проведено 3D моделювання кривошипно-шатуного механізму бурового насоса УНБ-600 в програмі КОМПАС 3D. Такого роду моделювання дає змогу провести аналіз вузлів і одержати вихідні дані для їх кінематичного і силового розрахунку.

В процесі моделювання отримано координати центрів мас і моментів інерції ексцентрикового вала, шатуна та повзуна насоса.

В результаті проведеного силового розрахунку кривошипно-шатуного механізму одержано годограф (рис. 6) реакції сили на шток кривошипно-шатуного механізму бурового насоса та координату її дії.



*Координата точки прикладання реакції, м*

Рис. 6. Годограф реакції штока бурового насоса

Для отримання вихідних даних про процеси в зоні тертя та їх вплив на зношування як штока, так і манжети проводили профілометрування зношеного відрізка (робочої поверхні) штоків ШП 111 70 × 1346 насосу УНБ-600, ШП 11 80 × 1390 насосу ГПН - 1300, ШП 45-1140 насосу 9МГр - 61, зміцнених струмом високої частоти згідно з ТУ 26 - 02 - 1052 - 87. Вимірювання макронерівностей профілю поверхонь штоків проводились у взаємно перпендикулярних площинах, розташованих вздовж вісі штока через 10 мм. За кінцевий результат вимірювань приймалися середні дані з чотирьох вимірювань в кожному перерізі.

Характерною особливістю зношування штоків насосів є наявність двох максимумів зношування - більшого на ділянці поблизу контрштока, та меншого на ділянці початку ходу всмоктування.

Аналіз профілограм поверхонь відпрацьованих штоків показав, що зношування на глибину 1,3-1,8 мм призводить до подальшого лавинного зношування поверхні всього відрізка штока внаслідок: розташування під зміцненим шаром основного металу, твердість і фізико-механічні властивості якого значно нижчі; утворення глибоких поздовжніх рисок; залишкової деформації; втрати герметичності ущільнення і промиву пари тертя шток - гумова манжета. Причому, через утворення гравітаційного градієнтного розподілу частинок, як по концентрації, так і по розмірах - нижня частина штоку зазнає більш інтенсивного зношування.

Вивчення характеру зношування вузла ущільнення – шток, а також величини реакції в зоні тертя показав, що вони є основними чинниками, які призводять до незадовільної зносостійкості.

Відомі конструкції ущільнень штоків мають низький рівень надійності, а фактори їх руйнування багатогранні і взаємозв'язані та важко піддаються

вивченню і управлінню. В процесі тертя відбувається складний механо- фізико- хімічний процес, внаслідок якого здійснюється руйнування манжет ущільнень і зношування штоків.

Для реалізації умови зменшення кількості абразивних частинок на вході поверхонь, що труться, використано відомий ефект, що створюється циліндром, який коливається в рідині по нормалі до своєї вісі і створює інтенсивні циркуляційні потоки, які відривають частинки осівші на поверхню штока та переводять їх в турбулентний потік.

Вібраційний очищувач (Патент України № 17727А) складається з декількох витків (рис.7) пружини, виконаної з пружного дроту трикутного перерізу, що охоплює шток і закріплений початковим витком жорстко до манжети, другий кінець вільний.

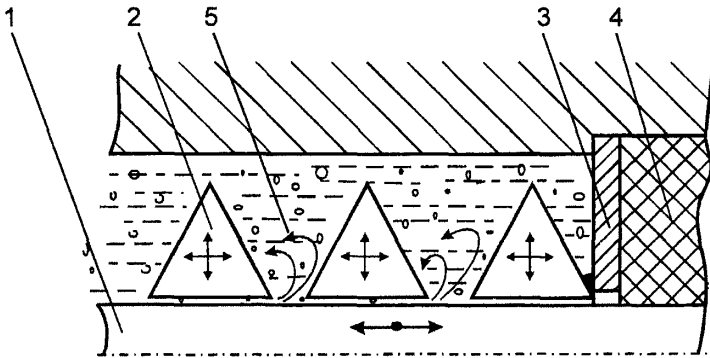


Рис. 7. Модель роботи вібраційного брудознімача:

1 – шток; 2 – пружина; 3 – шайба; 4 – ущільнення; 5 – буровий розчин.

Пружина, закріплена жорстко з однієї сторони, являє собою механічну коливальну систему, що збуджується рухом шару рідини, яка захоплюється поверхнею штока та вібрацією механізму. Вимушені коливання пружини викликають акустичні течії в поверхневому шарі бурового розчину та сприяють відриву прилиплених до штока частинок і перенос їх у верхні шари, внаслідок чого на вході штока в манжету значно знижується концентрація абразивних частинок та ймовірність попадання їх під манжету.

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі в результаті теоретичних узагальнень і проведення стендових та промислових досліджень наведено вирішення наукової задачі підвищення довговічності вузла шток – ущільнення штока двопоршневих бурових насосів.

1. На основі теоретичних та експериментальних досліджень руйнувань робочих поверхонь вузла шток-ущільнення штока бурового насоса уточнено закономірності їх зносу і встановлено, що зношування в значній мірі залежить не



тільки від комплексної дії агресивного та абразивного середовища, а й від кінематичних характеристик рухомих частин та динамічних процесів в насосі, що призводить до низького терміну служби.

2. На підставі аналізу існуючих методів зміцнення обґрунтовано доцільність застосування технології плазмових композиційних порошкових покриттів на робочу поверхню штока бурового насоса УНБ-600.

3. Виконані дослідження методом скануючої електронної мікроскопії, мас-спектрометрії вторинних іонів, структури, фазового складу та властивостей порошків, металографічні і рентгеноспектральні дослідження композиційних плазмових покриттів, одержаних за оптимізованою технологією, дозволили рекомендувати оптимальний вид самофлюсуючих порошків на основі Ni для зміцнення робочої поверхні штоків бурових насосів.

4. Розроблено науково обґрунтовану методику проведення випробувань вузлів типу шток-ущільнення штока на зношування при зворотно - поступальному русі, яка є експресною, тобто забезпечує автоматизацію процесів вимірювання, реєстрації і обробки результатів вимірювань із застосуванням мікропроцесорної техніки при мінімальній витраті часу.

5. Результати експериментальних досліджень на спроектованому стенді показали, що плазмове напилення є ефективним способом поверхневого зміцнення штоків бурового насоса, який дозволяє збільшити зносостійкість в 1,6 – 2,2 рази порівняно з існуючими технологіями. В результаті промислових випробувань, які підтвердили ефективність запропонованої технології, встановлено, що наробіток зміцнених за плазмовою технологією штоків в 1,6-1,68 рази більший, ніж штоків робоча поверхня яких зміцнена СВЧ серійного виробництва.

6. Розроблено патентно захищену конструкцію ущільнення штока бурового насоса, в якій за рахунок використання пружного елемента створюються течії і шток очищається від дрібнодисперсних абразивних частинок, що призводить до збільшення довговічності роботи вузла.

#### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гладкий С.І. Шляхи підвищення довговічності пар тертя бурових і нафтопромислових насосів// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 1996. - № 33. -С 160-165.

2. Гладкий С.І. Дослідження структур та властивостей покриттів одержаних плазмовим методом. //Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. -1997. - № 34.-С 153-159.

3. Гладкий С.І., Харун В.Р., Парайко Ю.І., Попадюк В.В., Шостаківський І.І. Аналіз причин низької зносостійкості вузла ущільнення-шток двопоршневого бурового насоса //Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. - 2006. - № 2(14).– С. 105-109.

4. Пат. 17727 А України, МКИ F16 J 15/32. Вібраційний брудознімач /С.І. Гладкий, Я.Д. Климишин, М.Й. Бурда, Ю.І. Парайко, А.М. Соловка. -№ 96093489; Заявл. 09.09.96; Опубл. 31.10. 97, Бюл. №5. –3 с.

5. Пат. 21858 А України, МКИ G01 N 3/56. Пристрій для дослідження матеріалів на тертя і спрацювання / С.І. Гладкий, М.Й. Бурда, Ю.І. Парайко, Б.Д. Малько. – № 95010002; Заявл. 02.01.95; Опубл. 30.04.98, Бюл. №2. – 3 с.

6. Гладкий С.І., Климишин Я.Д., Парайко Ю.І. Механізм износа пары трения шток-манжета и средства износостойкости /Ивано-Франковск. гос.техн. ун-т нефти и газа. – Ивано-Франковск, 1996. –15 с. :ил. –Библиогр. :8 назв. –Укр. –Деп. в ГНТБ Украины\_06.05.96, № 1138-Ук96//Анот. в Р.Ж. Горное дело. – 1997. – Реф. 1Г193Деп.

7. Гладкий С.І., Парайко Ю.І., Бурда М.Й., Сорока С.В. Довговічність деталей пар тертя гідравлічної частини насосів, що використовуються в нафтогазовій галузі // Тези доповідей і повідомлень науково-практичної конференції: Стан, проблеми і перспективи розвитку нафтогазового комплексу західного регіону України (Львів, 28-30 березня 1995 р.). – Львів :Українська нафтогазова академія. –1995. –С. 162.

8. Гладкий С.І., Парайко Ю.І. Результати досліджень зміцнених пар тертя насосного газонафтопромислового обладнання при зворотньо-поступовому русі // Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету. –Ч. 2. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. –1995. – С. 42.

9. Гладкий С., Парайко Ю. Загальна концепція підвищення надійності вузлів тертя газонафтопромислового обладнання // 2-й міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові (Львів, 4-6 травня 1995 р.). –Львів :Державний університет “Львівська політехніка”. – 1995. – С. 64.

10. Гладкий С.І., Парайко Ю.І. Підвищення надійності вузлів бурового нафтопромислового обладнання нанесенням плазмових порошкових покриттів //Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції (Запоріжжя, 27-29 вересня 1995 р.). – Ч. 3. –Запоріжжя :Запорізький державний техн. університет. – 1995. –С. 133.

11. Бурда М.Й., Гарасимів Г.В., Климишин Я.Д., Гладкий С.І. Використання методів триботехнології для підвищення надійності і довговічності деталей машин // Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету. –Ч. 2. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. –1996. –С. 40.

12. Гладкий С.І., Парайко Ю.І., Бурда М.Й. Оптимізація технології формування поверхонь триботехнічного призначення плазмовим напиленням для вузлів нафтопромислового обладнання // Матеріали науково-практичної конференції Нафта і газ України – 96 (Харків, 14-16 травня 1996 р.). – Том 3. – Харків: УНГА. – 1996. – С. 193.

13. Гладкий С.І. Дослідження структури і фізико-хімічних властивостей плазмових порошкових покриттів // Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету. – Ч. 2. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. –1996. –С. 37.

## АНОТАЦІЯ

Гладкий С.І. Підвищення довговічності вузла шток-ущільнення штока двопоршневих бурових насосів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.12 – Машини нафтової та газової промисловості. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2007.

Дисертаційна робота присвячена проблемі підвищення довговічності вузла шток-ущільнення штока бурових двопоршневих насосів за рахунок використання композиційних порошкових матеріалів для зміцнення робочої поверхні штоків та вдосконалення конструкції ущільнення.

У дисертації уточнено закономірності зношування вузла шток – ущільнення штока бурового насоса. Обґрунтовано доцільність та розроблено оптимізовану технологію плазово-дугового зміцнення робочої поверхні штока композиційними порошковими покриттями. Металографічні дослідження одержаних плазових покриттів дозволили рекомендувати оптимальний вид самофлюсуючих порошків. На основі експериментальних стендових та виробничих випробувань вузла шток – ущільнення штока бурового насоса, проведених з допомогою запропонованої методики, доведено ефективність застосування плазового порошкового напilenня.

Результати досліджень, які викладені в дисертації, реалізовано в розробці технічних рішень направлених на підвищення ефективності експлуатації бурових насосів та інтенсифікацію процесів будівництва свердловин.

**Ключові слова:** довговічність, буровий двопоршневий насос, шток, ущільнення.

## АННОТАЦИЯ

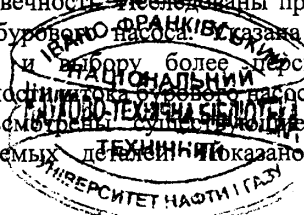
Гладкий С.И. Повышение долговечности узла шток-уплотнение штока двупоршневых буровых насосов. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.12 – машины нефтяной и газовой промышленности. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. – Ивано-Франковск, 2007.

Диссертационная работа посвящена проблеме повышения долговечности узла шток-уплотнение штока буровых двупоршневых насосов за счёт использования композиционных порошковых материалов для упрочнения рабочей поверхности штоков и усовершенствования конструкции уплотнения.

В первом разделе рассмотрено состояние исследований по тематике диссертационной работы. Сделан анализ условий работы деталей буровых насосов, работающих при возвратно-поступательном движении, подчеркнута их недолговечность. Исследованы причины выхода со строя узла шток-уплотнение штока бурового насоса. Показана необходимость проведения исследований по анализу и выбору более перспективных технологий упрочнения рабочей поверхности штоков бурового насоса.

Рассмотрены условия, при которых технологии повышения работоспособности исследуемых деталей показано, что к наиболее перспективным методам



упрочнения относится метод плазменно-дугового напыления композиционными порошковыми материалами.

В завершении раздела обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы задачи исследований.

Во втором разделе разработана методика и стенд для исследований узлов шток-уплотнение штока буровых насосов двустороннего действия. Проведено моделирование узла уплотнение-штоки. Уделено внимание разработке компьютерного обеспечения возможности непрерывной регистрации результатов измерений на стенде и обработки их на ЭВМ.

В третьем разделе разработана и апробирована технология плазменного упрочнения рабочей поверхности штока бурового насоса УНБ-600 на установке для напыления 15ВБ-02. Проведено комплексное исследование процесса напыления композиционных порошков и установлена степень влияния на ход процесса основных технологических факторов. Реализована матрица математического планирования эксперимента. Полученное уравнение регрессии использовано для расчёта оптимальных режимов плазменного напыления самофлюсующимися порошковыми материалами, которые необходимы для получения необходимого качества рабочей поверхности штока бурового насоса.

В четвёртом разделе рассмотрен механизм изнашивания исследуемого узла. Выявлены условия, которые влияют на интенсивный износ узла уплотнение-штоки. С этой целью произведено трехмерное моделирование кривошипно-ползунного механизма насоса УНБ-600. В результате проведённых расчётов получен годограф реакции силы на штоки и координаты её действия, с помощью которого установлено, что одним из факторов неудовлетворительного термина службы являются нагрузки, действующие в узле.

Произведены исследования структуры и свойств покрытий, полученных плазменным методом по разработанной технологии. Установлено, что применение композиционных самофлюсующихся покрытий на основе никеля увеличит долговечность деталей узла штоки-уплотнение штока бурового насоса.

Приведены результаты стендовых и производственных испытаний, которые показали, что плазменное напыление является эффективным способом поверхностного упрочнения штоков буровых насосов.

Результаты исследований, изложенные в диссертации, реализованы в разработке технических решений, направленных на повышение эффективности эксплуатации буровых насосов и интенсификацию процессов строительства скважин. Для уменьшения количества попадания абразивных частиц между поверхностями штока и уплотнением разработана конструкция вибрационного очистителя рабочей поверхности штока бурового насоса.

**Ключевые слова:** долговечность, буровой двупоршневой насос, штоки, уплотнение.

## SUMMARY

S.I. Hladky. Enhancement of junction durability of rod-sealing rod of drilling double-piston pumps. – Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.05.12 – machines of oil and gas industry. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. – Ivano-Frankivsk, 2007.

The thesis is devoted to the problem of enhancement of junction durability of rod-sealing rod of drilling double-piston pumps by usage of composite powder-like materials to strengthen the working rod surface and improve sealing construction.

In the thesis there has been specified the regularity of rods' junction wearability - rod sealing of the drilling pump. The expediency has been proved and optimized technology of plasma-arc strengthening of working rod surface by composite powder-like materials has been developed. Metallograph research of the received plasma coatings permits to recommend the optimal kind of self-fluxing powders. On the basis of the offered methods there has been conducted the test of rod junction – rod sealing of drilling pump. By the conducted experimental stand and industrial tests there has been proved the effectiveness of plasma powder sputtering application.

The results described in the thesis research have been implemented in the development of technical decisions directed to the increase of the exploitation effectiveness of drilling pumps and intensification of well construction processes.

**Keywords:** durability, mud duplex pump, rod, compression.