

ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ОСНОВИ НАДІЙНОСТІ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ НАФТОГАЗОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

На основі аналізу показників надійності вузлів тертя нафтогазового обладнання запропоновано загальні напрями проведення заходів для підвищення його надійності та розроблено універсальну класифікацію зміцнювальних технологій. Виконаний аналіз дозволяє вдосконалити методики досліджень і підвищити надійність вузлів тертя нафтогазового обладнання

Вступ. Для забезпечення встановлених урядом України об'ємів видобутку нафти і газу необхідно вводити в дію понад 210 свердловин щороку. Досягнення таких показників має забезпечити орієнтовно 250 бурових установок. Діяльність діючих свердловин забезпечується шляхом експлуатації фонтанних арматур, верстатів-качалок, безштангових насосних установок, обладнання для експлуатації свердловин газліфтним способом, обладнання для підземного ремонту свердловин, а також обладнання для підтримання пластового тиску, гідравлічного розриву пласта та ін.

Це обладнання працює в надзвичайно складних умовах експлуатації – за великих навантажень, контактних тисків, температур, у корозійно-активних та абразивних середовищах. Оскільки ресурс експлуатації нафтогазового обладнання (НГО) в Україні значною мірою використано, маємо значне зростання витрат на забезпечення необхідної довговічності роботи вузлів тертя, через відмову яких виходить з ладу обладнання у 80% випадків [1].

Постановка проблеми. Спрацювання визначає термін експлуатації таких вузлів і деталей, як опори турбобурів, опори доліт, заглибних електровідцентрових насосів, ущільнення насосів, циліндрові втулки, штоки, напрямні крейцкопфа бурових насосів, зубчасті передачі роторів, коробок зміни передач, ланцюгові й пасові передачі, шибери, сідла, внутрішні поверхні деталей фонтанних арматур та всіх видів засувок, опори компресорів, деталі талевої системи, замки і різьбові поверхні бурильних та

насосно-компресорних труб і багато інших виробів. Надійність роботи таких вузлів визначає ефективність експлуатації обладнання в цілому.

Надійність НГО має забезпечуватись на всьому шляху життєвого циклу (рис.1), тобто на стадіях планування, розроблення, виготовлення експлуатації та ремонту. При цьому на кожній стадії розраховуються показники надійності, а це не тільки визначення ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмови, а також розрахунки:

- густини ймовірності відмови;
- інтенсивності відмов;
- середнього напрацювання до відмови;
- дисперсії часу безвідмовної роботи;
- параметрів потоку відмов;
- імовірність відновлення;
- середній час відновлення;
- інтенсивність відновлення;
- коефіцієнт готовності;
- коефіцієнт технічного використання і деякі інші показники.

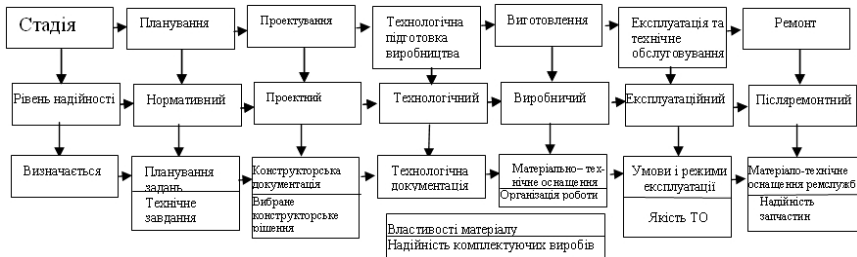


Рис. 1. Рівні надійності нафтогазового обладнання і шляхи їх забезпечення

Методика проведення досліджень. Розрахунок подібних показників дозволяє виділити найслабкіші ланки більшості видів НГО, а саме їх вузли тертя. Наприклад, на рис. 2 показано загальний вигляд бурового насоса. Основними ланками двопоршневих насосів двосторонньої дії, що значно скорочують міжремонтний період, це клапанна група, циліндропоршнева пара, та особливо вузол шток – ущільнення штока. Загальний вигляд засувки показано на рис. 3. Тут найбільш вразливим вузлом є пара шибер – сідло та внутрішня поверхня проходу через засувку продукції свердловини.

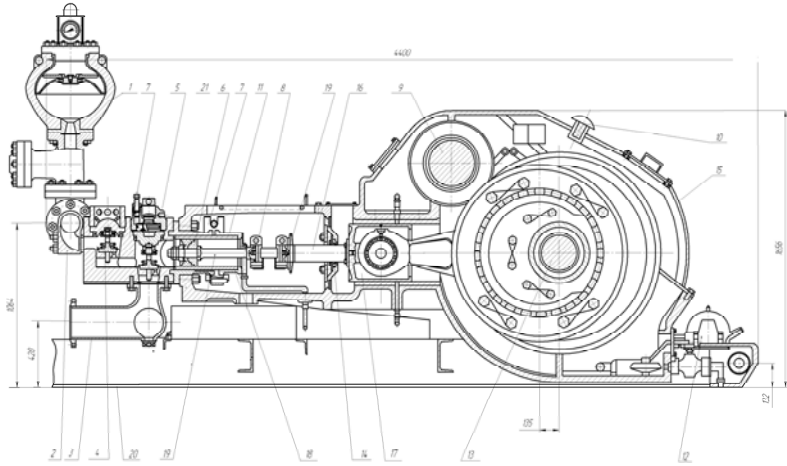


Рис. 2. Насос буровий НБТ-600: 1 – пневмогідроаккумулятор; 2 – колектор напірний; 3 – колектор вхідний; 4 – клапан напірний; 5 – клапан вхідний; 6 – поршень; 7 – муфта циліндротримача; 8 – хомут; 9 – вал трансмісійний; 10 – сапун; 11 – циліндротримач; 12 – система мащення; 13 – вал ексцентриковий; 14 – вузол ущільнювальний; 15 – станина; 16 – контршток; 17 – крейцкопф; 18 – втулка циліндрова; 19 – шток; 20 – рама

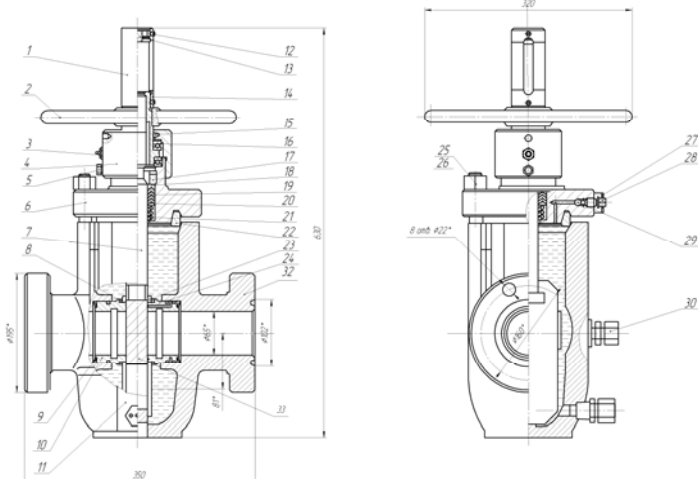


Рис. 3. Засувка прямоточна ЗМС1-65×210: 1 – втулка; 2 – штурвал; 3 – мастильниця; 4 – кришка підшипників; 5 – болт М12; 6 – кришка корпусу; 7 – шток; 8 – прокладка; 9 – пружинне кільце; 10 – шочка; 11 – напрямні; 12 – фіксатор; 13 – регулювальний гвинт; 14 – ковпак; 14 – втулка дистанційна; 15 – прокладка; 16 – підшипник; 18 – кільце натискне верхнє; 19 – ущільнення; 20 – кільце натискне нижнє; 21 – пружина; 22 – прокладка ущільнююча; 23 – втулка напрямна; 24 – сідло; 25 – шпилька М25; 26 – гайка М25; 27 – кришка прес-мастильниці; 28 – прес-мастильниця; 29 – кулька; 30 – гвинт натискний; 32 – корпус; 33 – шибєр

У роторі (рис. 4) найнижчу довговічність виявлено в зубчастій передачі, зірочки ланцюгової передачі та підшипниках.

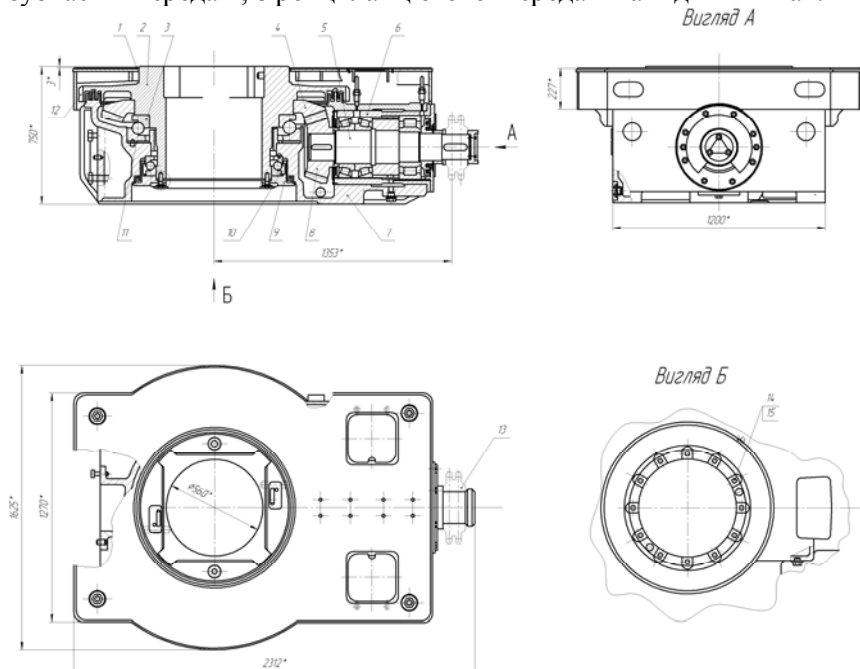


Рис. 4. Ротор: 1 – кришка; 2 – стіл ротора; 3 – основна опора; 4 – конічне колесо; 5 – швидкохідний вал; 6 – стакан; 7 – станина; 8 – конічна шестірня; 9 – фланець; 10 – допоміжна опора; 11 – регулювальне кільце; 12 – фіксатор; 13 – зубчасте колесо; 15 – планка опорна

Експлуатація шарошкових доліт показує, що найненадійнішим вузлом є опора (підшипники ковзання і кочення) та зуби шарошок (рис. 5).

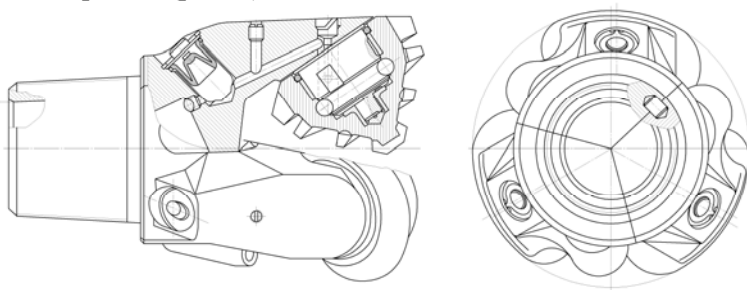


Рис. 5. Долото шарошкове

Проведені дослідження причин виходу з ладу та розрахунки надійності такого обладнання дозволяють запропонувати загальний напрям етапів робіт з планування надійності вузлів тертя НГО (рис. 6).

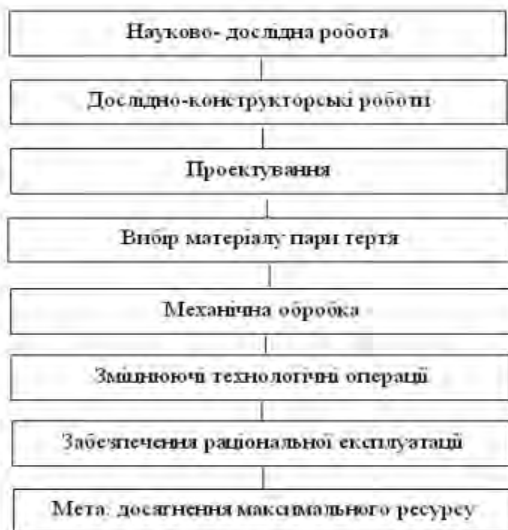


Рис. 6. Загальні напрями робіт з підвищення надійності вузлів тертя нафтогазового обладнання

На етапі проектування головним є розроблення оптимальної конструкції поверхонь тертя деталей, які потім піддають дії зміцнювальних технологій. Вибираючи матеріали, необхідно брати до уваги сумісність тертьових поверхонь, забезпечення виконання правила додатнього градієнта опору зсуву, формування «зрівноваженої» шорсткості [2].

Нами встановлено, що використання зносостійких композиційних матеріалів як захисних покриттів різного нафтохімічного, нафтогазового і металургійного обладнання дозволяє підвищити працездатність і довговічність його роботи в 3–5 разів. Малий коефіцієнт тертя і велика їх зносостійкість досягається за рахунок реалізації деформування тільки тонких поверхневих шарів, що виникають унаслідок гетерогенної будови – м'якої матриці і твердих включень. За рахунок перенесення металу з м'якої структурної складової утворюється тонка захисна плівка, формування якої визначається механічними властивостями матриці

– сплаву, а також одночасною дією агресивного середовища і тертя. За збільшенням питомого навантаження тверді частинки сприймають основне зусилля, запобігають проникненню деформування на велику глибину, що перешкоджає порушенню режиму зовнішнього тертя. Крім того, поверхню композиції можна також зміцнювати [3].

Наступний етап робіт зі зменшення зношування – механічна обробка, за допомогою якої досягається в основному якість поверхні, забезпечується потрібний макро-, мікро- і субмікрорельєф. Одним із кроків у розроблення пари тертя, що забезпечує мінімальне зношування – зміцнювальна обробка.

Відома велика кількість методів зміцнення і захисту поверхні обладнання, що зазнає зношування. Проте досі немає загальної систематизації методів зміцнення деталей машин [2].

Пропонується класифікація (рис. 7), відповідно до якої чітко розподілено методи за технологічними ознаками: термообробка, напилення, металізація та інші, а також враховано нові напрями (іонно-дифузійний, обробка вибухом, опромінення та ін.).

У буровому обладнанні значна кількість важковантажних деталей, що обмежують надійність і довговічність усієї конструкції, працюють в умовах динамічних навантажень, агресивного та абразивного середовищ.

Витрати на заміну зношених штоків, циліндрових втулок, поршнів, ущільнень штоків бурових насосів суттєво збільшують собівартість буріння та видобутку нафти і газу, тому підвищення їх надійності є одним з першочергових завдань наукових досліджень.

Однією з найслабкіших ланок бурового насоса є пара тертя шток – ущільнення штока. Так, профілограма мікрогеометрії робочої частини штока (рис. 8) дозволяє встановити місця катастрофічного зносу не зважаючи на те, що технологія виготовлення штока передбачає гартування та хромування.

Для виявлення умов, що передують виникненню інтенсивного зносу вузла ущільнення штока – штока бурового насоса – проведено 3D моделювання кривошипно-шатунного механізму бурового насоса УНБ-600 за допомогою програми КОМПАС 3D. Такого роду моделювання дає змогу провести аналіз складання деталей та вузлів і отримати вихідні дані для кінематичного і силового розрахунків.

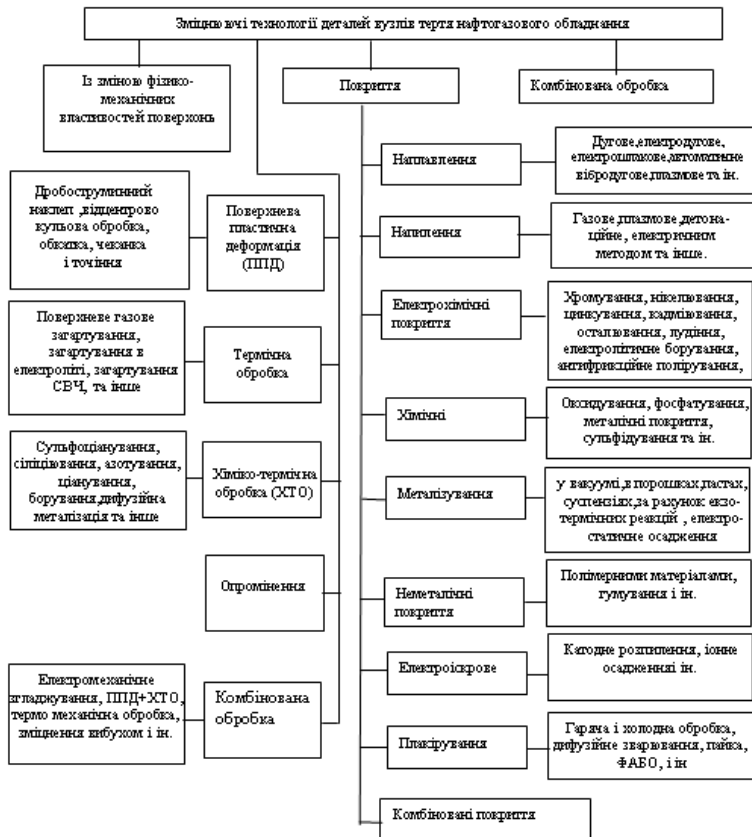


Рис. 7. Класифікація технологій підвищення зносостійкості вузлів тертя НГО

У процесі моделювання отримано координати центрів мас і моментів інерції ексцентрикового вала, шатуна та повзуна насоса, але головне, що виявлено, це те, що у парі тертя шток – ущільнення штока виникає значна радіальна змінна реакція (рис. 9), а це не передбачено даними заводу-виробника. На рис. 9 показані годографи двох насосів УНБ-600 і БРН-1 бурових установок для буріння свердловин до 2500 м (БРН-1) і до 5000 м (насос УНБ-600). Аналіз годографів показав, що в одному з випадків реакція досягає 70 кН, а в другому – 30 кН, і їх зміна в часі свідчать, що це є основною причиною незадовільної зносостійкості і попадання абразиву в зону тертя.

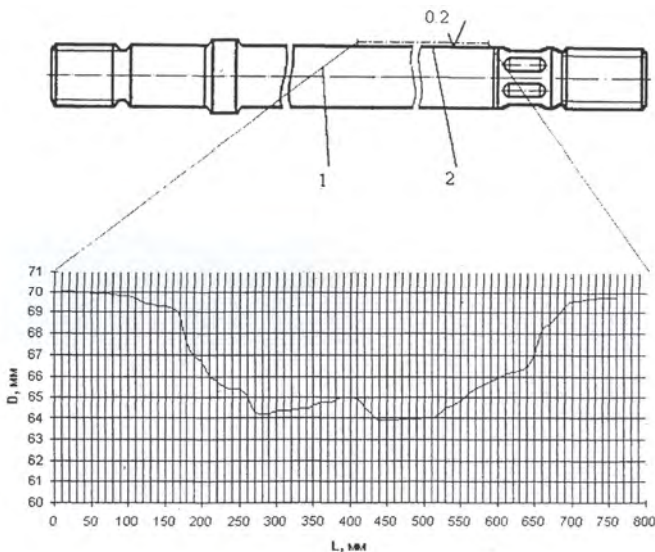


Рис. 8. Профілограма макрогеометрії робочої поверхні штока бурового насоса: 1 – шток бурового двопоршневого насоса, 2 – ділянка максимального зносу

Обґрунтування отриманих результатів. Аналіз отриманих результатів дозволив рекомендувати як зміцнювальну технологію для штока вибрати плазмове порошкове покриття, причому випробування різних матеріалів для нанесення існуючих порошків при випробуваннях дозволив вибрати оптимальний (див. таблицю).

Для запобігання попаданню абразивних частинок у зону тертя шток – ущільнення штока запропоновано ефективне удосконалення [4] – вібраційний брудознімач.

Аналіз наявних стендів, лабораторних установок, технологій досліджень вузлів тертя виявив незадовільний стан відтворення натурних умов роботи під час експлуатації НГО. Вищезгадане зумовило проведення трибомоніторингу, що дозволило розробити й виготовити ряд засобів, які дозволяють вдосконалити і підвищувати надійність вузлів тертя НГО. Так, патенти [5; 6] лягли в основу створення спеціального стенда для дослідження зносостійкості моделі пари тертя шток–ущільнення штока бурових насосів (рис. 10). Розроблено універсальний стенд для трибологічних досліджень торцевих ущільнень відцентрових насосів [3].

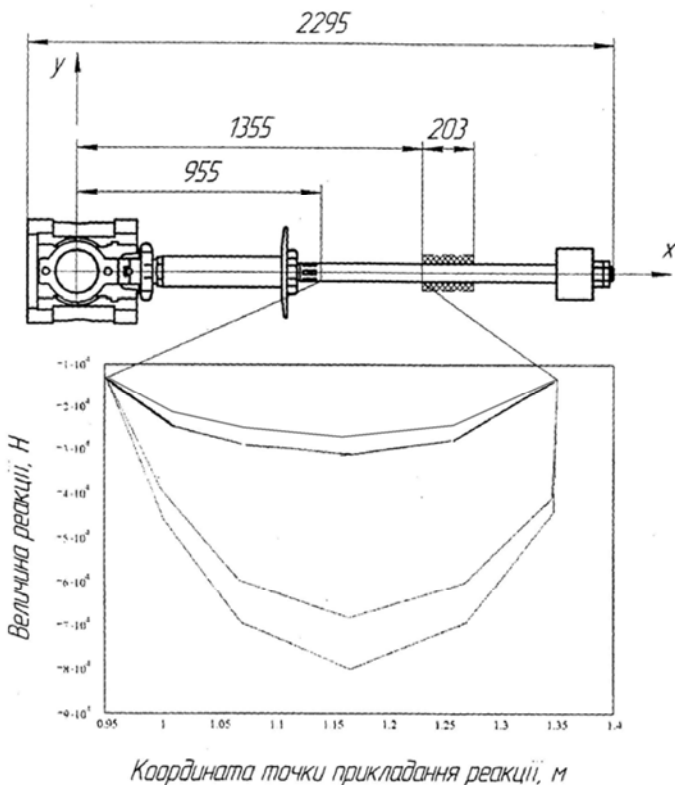


Рис. 9. Годограф реакції в прив'язці до штока бурового насоса

З урахуванням вкрай незадовільної стійкості запірних елементів газо- і нафтопроводів отримано авторські свідоцтва і впроваджено спеціальні технології борування таких вузлів [7; 8], що дозволило підвищити зносостійкість цих вузлів у 2,5–5 разів. Для дослідження газообразивного зношування розроблено й отримано патент на винахід [10] на спеціальний пристрій. Відома надзвичайно низька стійкість нарізних з'єднань труб нафтогазового сортаменту (бурильних, насосно-компресорних та ін.). Нами розроблен стенд для трибологічних досліджень пари тертя з кінчними спряженими поверхнями і отримано авторське свідоцтво [9]; стенд дозволяє відтворювати натурні умови роботи даних нарізних з'єднань.

Таблиця 1

Основні характеристики і склад порошків для плазмового напилення

Країна	Марка сплаву	C	B	Ni	Cr	Fe	Інші елементи	HRC
РОСІЯ	ПГ-10Н-01	0,6 1	2,8 3,4	основа	14 20	3 4	---	55-62
	ПГ-10Н-04	До 0,1	1,2 1,8		---	0,2 0,6	---	89-96
	ПГ-12Н-01	0,3 0,6	1,7 2,5		8 14	1,2 1,3	---	35-40
	ПГ-12Н-02	0,4 0,8	2 4		10 16	10 5	---	45-50
	ПГ-12Н-03	0,5 1,5	2,5 4,5		12 8	3,5 5	---	55-62
	ПТ-НА-01	---	---		---	---	4-5Al	---
	ПТ-19Н-01	0,3 0,6	1,2 2,5		3,9 14	1,2 3,2	0,8-1,3 Al	35-40
	ПГ-19Н-01	---	---		---	4	Основа Cu	65-70
РОСІЯ, НВО «Тулачермет»	ПГ-СРЗ	0,4 0,7	2 2,8		13,5 16,5	5	---	48-52
	ПР- Н80Х13С2Р	0,2 6,4	1,2 1,8		12 14	До 5	---	25-35
	ПР- Н77Х15С3Р2	0,35 0,6	1,8 2,3		14 16	До 5	---	25-45
	ПР- Н73Х16С3Р3	0,6 0,9	2,3 2		15 17	До 5	---	45-50
	ПН70Ю30	0,07	---		---	0,2	28-33 Al	---
	ПН85Ю15	0,07	---		---	0,2	12-15 Al	30-35
	ПН55Т45	0,07	---		---	0,2	43-47 Ti	55-60
	ПН88Н12	0,07	---	10 12	---	0,2	основа Ti	---
США	12С	0,15	2,5	осн	10	2,5	---	---
	31С	0,5	2,5	46	11	2,5	35W	---
	Колмоной 5	0,65	2,5		11,5	4,25	---	45-50
	Колмоной 7	0,75	2,5		11,5	3,75	16 W	50-55
ЯПОНІЯ	М S F Ni 1	0,25	1-2,5		0-10	до 4	до 6 Cu	15-30
	М S F Ni 2	До 0,5	1,5-3		9-11	До 4	---	30-40

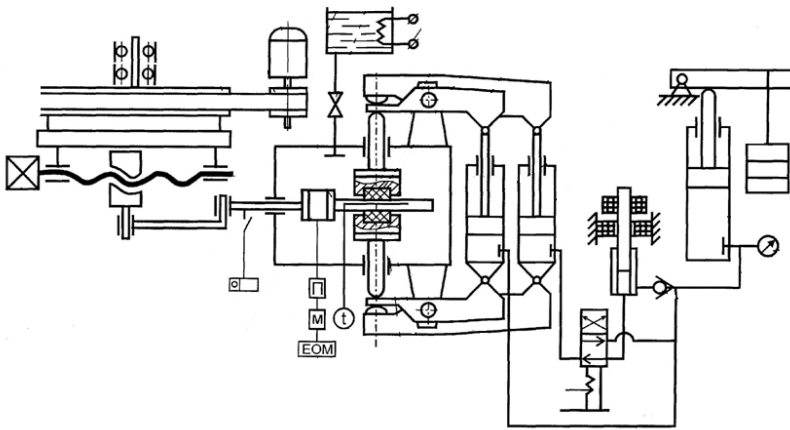


Рис. 10. Стенд для дослідження пар тертя при зворотно-поступальному русі

Не повною мірою в нафтогазовій промисловості забезпечено необхідну довговічність циліндро-поршневих пар двигунів внутрішнього згоряння та плунжерів плунжерних насосів. Тому нами розроблено і впроваджується спеціальне обладнання для нанесення тонких захисних покриттів фінішною антифрикційною безабразивною обробкою (ФАБО) як для зовнішніх (рис. 11), так і для внутрішніх (рис. 12) поверхонь. Упровадження ФАБО дозволяє збільшити зносостійкість даних вузлів, зменшити витрати оливо і палива двигунів внутрішнього згоряння та ін.

Висновки:

1. Для забезпечення ефективної роботи машин та обладнання нафтогазової промисловості необхідно розрахувати комплекс показників їх надійності.

2. З огляду на екстримальні умови роботи більшості вузлів і обладнання НГО запропоновано проведення трибомоніторингу в результаті чого було розроблено і виготовлено ряд установок, стендів і пристроїв для випробування деталей та взірців вузлів тертя НГО з врахуванням умов експлуатації (стенд для випробування при зворотно – поступальному русі, стенд торцевого тертя, стенд для дослідження тертя на газоабразивне зношування, установка для

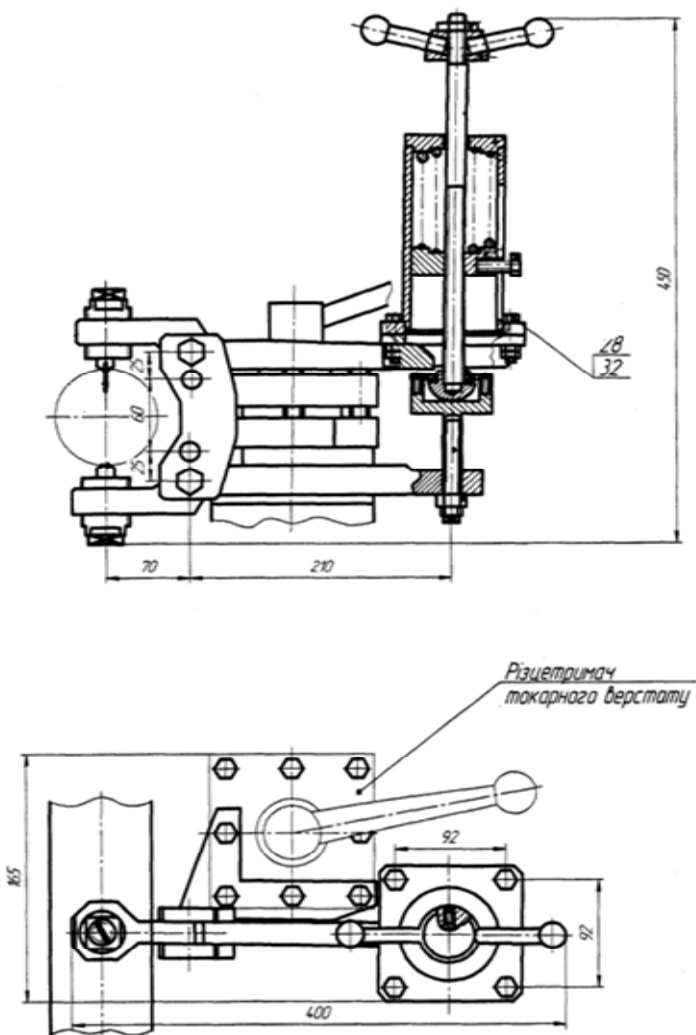


Рис. 11. Пристрій для нанесення покриттів на зовнішні поверхні
 фінішною антифрикційною безабразивною обробкою

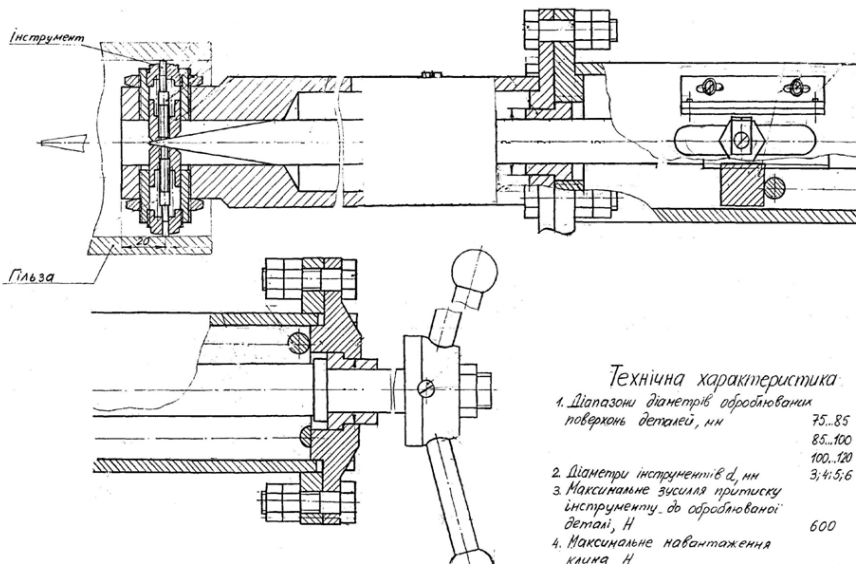


Рис. 12. Пристрій для нанесення покриття на внутрішні поверхні фінішною антифрикційною безабразивною обробкою

дослідження на зношування конічних поверхонь різьб труб нафтового сортаменту, пристрої для фінішної безабразивної антифрикційної обробки вузлів тертя двигунів внутрішнього згорання компресорів, плунжерних насосів та ін.

3. Розглянутий підхід до вузлів тертя НГО дозволить підвищити надійність пари тертя поршневих бурових насосів, торцевих ущільнень відцентрових насосів, зношуваних деталей запірної арматури, двигунів внутрішнього згорання, що свідчить про ефективність наряду стратегії вдосконалення машин та обладнання нафтогазової промисловості.

Список літератури

1. *Парайко Ю.І.* Шляхи вдосконалення та підвищення надійності бурового та нафтогазопромислового обладнання: тези доп. на Міжнар. наук.-техн. конф. «Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці» (Івано-Франківськ, 2007).
2. *Бабаєв С.Г.* Надійність нефтєпромислового обладнання. – М., Недра, 1987.

3. *Парайко Ю.І.* Закономірності зношування композиційних гетерогенно зміцнених матеріалів під час тертя ковзання. // Проблеми тертя та зношування. – 2007. – № 47. – С.112–120.

4. *Патент на винахід* UA № 17727 «А». Вібраційний брудознімач. Гладкий С.І., Климишин М.Д., Бурда М.Й., Парайко Ю.І., Соловка А.М.

5. *Авторское свидетельство* №1516881 «Устройство для испытания пары трения на износ при возвратно – поступательном движении». Березанский А.С., Парайко Ю.І., Бурда М.Й., Драгомирецький Я. М, Шандрик В.Н.

6. *Патент на винахід* UA № 21858 «А» Пристрій для дослідження матеріалів на тертя та спрацювання. Гладкий С.І., Бурда М.Й., Парайко Ю.І., Малько Б.Д.

7. *Авторское свидетельство* №775173 «Порошкообразный состав для борирования» Белоусов В.Я., Колеватова Р.А., Муравья Е.С., Парайко Ю.І.

8. *Авторское свидетельство* №783359 «Состав для диффузионного насыщения». Белоусов В.Я., Колеватова Р.А., Муравья Е.С., Парайко Ю.І., Шкуратов В.В.

9. *Авторское свидетельство* №1758504 «Стенд для для трибологических исследований пары трения с коническими сопряжёнными поверхностями». Бурда М.Й., Парайко Ю.І., Драгомирецький Я. М, Шпак М.В., Петровский Б.І.

10. *Патент на винахід* UA № 22887 «А» «Пристрій для дослідження матеріалів на газообразивне спрацювання». Бурда М.Й., Парайко Ю.І., Гладкий С.І.

***Парайко Ю. І.* **Фундаментальные основы надёжности узлов трения машин и оборудования нефтегазовой промышленности** // Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 53. – С.12–25.**

На основани анализа показателей надёжности слабого звена узлов трения нефтегазового оборудования предложены общие направления проведения инженерных мероприятий для повышения его надёжности и разработана универсальная класификация упрочняющих технологий.

Рис. 12, табл. 1, список лит.: 10 наим.

Fundamentals of friction units reliability of machines and equipment of oil and gas industry

Based on determining the reliability weakest links – friction units of oil and gas equipment (OGE) were developed general directions of the activities for improving reliability and were compiled a universal classification for hardening technologies.

Стаття надійшла до редакції 04.06.10