

УДК 622. 242. 6 + 658. 511

М. Квас

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СПАДКОВОСТІ ШТОКІВ БУРОВИХ НАСОСІВ НА ЇХ ДОВГОВІЧНІСТЬ

Резюме. Поверхневе індукційне загартовування і шліфування перед електрохімічним хромуванням не забезпечує стабільного середньостатистичного напрацювання штоків бурових насосів двосторонньої дії через недостатню міцність приповерхневих шарів матеріалу робочих поверхонь і негативної технологічної спадковості остаточних операцій. Заміна термічної обробки та шліфування на механоультразвукове зміцнення дає можливість підвищувати довговічність штока приблизно у 2,3 рази. Для усунення виникнення дефектів необхідно здійснювати розмірне хромування. Економічна ефективність від упровадження (589,0 тис. грн.) дозволяє зменшити витрати на шліфування, а також усунути брак, який властивий термічній обробці і шліфуванню.

Ключові слова: буровий насос, шток, поверхневе індукційне гартування, шліфування, електрохімічне хромування, механо ультразвукове зміцнення, довговічність.

M. Kvas

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL AND OPERATING HEREDITY RODS OF BORING PUMPS ON THEIR LONGEVITY

The summary. The surfacing induction hardening and grinding before electro-chemical chromes plating does not guarantee the stable average work-out of the rods of the dual action boring pumps because of the insufficient strength of the surfacing layers and negative technological heredity of the finishing operations. The replacement of thermal treatment and grinding to ultrasonic hardening gives opportunity to increase durability of the rod approximately in 2.3 times. For determination of the possible defects it is necessary to make measured chromes plating. Economical efficacy of inculcate (589 000 grn.) gives opportunity to decrease grinding expenses and to determinate the defective articles of the thermal treatment and grinding.

Key words: boring pump, rods, induction hard-facing, grinding, electrochemical chrome-plating, mechano is the ultrasonic strengthening, longevity.

Постановка проблеми. Однією з основних проблем в експлуатації бурових насосів двосторонньої дії є низькі показники напрацювання штоків поршнів, які, працюючи у важких умовах, швидко виходять з ладу, що призводить до збитків. Особливо актуальними питання довговічності штоків стають в умовах збільшення глибини буріння та перевантаженнях бурових насосів [1,2]. Вирішення даної проблеми є неможливим без раціонального застосування матеріалів для виготовлення деталей, а також обґрунтованого вибору ефективної маршрутної технології як на стадії механічної обробки, так і при зміцнюючих й викінчувальних обробках. Взаємодія окремих технологічних факторів має місце не тільки на стадії виготовлення деталі, де проявляється технологічна спадковість, але й при її експлуатації. Зокрема, під час тертя в поверхневому шарі створюється наклеп, який взаємодіє з технологічними дефектами. Відтак мікротріщини, що виникають під час обробки, зумовлюють утворення втомних тріщин і т.д. Однак можливості сучасної технології у вирішенні даної проблеми стримуються відсутністю необхідних теоретичних даних про процеси, що протікають у контактуючих поверхнях еластометричної пари, яка працює у гідроабразивному середовищі при значних перевантаженнях. Також практично відсутній теоретичний опис процесів утворення дефектів, спричинених технологічною спадковістю. Це уне-

можливе науковий підхід до обґрунтованості ефективності використання тієї чи іншої технологічної операції обробки чи зміцнення в структурі технологічного процесу. Це, у свою чергу, не дає можливості з високою точністю прогнозувати експлуатаційні характеристики деталей. Що стосується впливу технологічної та експлуатаційної спадковості штоків бурових насосів двосторонньої дії на їх експлуатаційні властивості, то такі дослідження перебувають на початковому етапі. Перші з них стосуються загальних питань впливу тієї чи іншої зміцнюючої обробки штока на його довговічність, що загалом не вирішує проблему.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При статистичному аналізі значень напрацювань хромованих штоків насоса У8-6МА автори [1–3] спостерігали порушення стабільності середньостатистичного напрацювання в корозійних середовищах з підвищеною концентрацією абразиву та високих значеннях швидкостей реверсивного тертя і втомних навантажень. Крім цього, дані експериментів засвідчили, що штоки схильні до утворення вм'ятин, вибоїн, які сприяють швидкому виходу з ладу. Припускалося, що це могло бути пов'язано з низькою твердістю основного матеріалу штока, а також недостатньою величиною його границі міцності при розтягу. Проте в роботах відсутній аналіз фізико-механічних властивостей поверхневих і приповерхневих шарів основного матеріалу штоків. У роботі [4] вказано, що хромове покриття зазнає ушкоджень різних видів, але механізм цих ушкоджень не встановлено. В дослідженнях [5, 6] зроблено спробу аналізу технологічних шляхів виготовлення штока бурового насоса двосторонньої дії. Встановлено зв'язки між експлуатаційними, економічними показниками та вибраною маршрутною технологією виготовлення штока. Потенційно ефективними методами обробки штока виявився технологічний процес із електрохімічним хромовим покриттям та з механоультразвуковим зміцненням. Проте в роботі не розглянуто питання технологічної спадковості та їх вплив на експлуатаційні показники штоків.

Мета роботи – виявлення зв'язків між технологічною спадковістю й експлуатаційними властивостями штоків бурових насосів двосторонньої дії.

Методика дослідження. Виділити та проаналізувати стадії і причини руйнування штоків, а також внести обґрунтовані зміни в існуючий типовий технологічний процес виготовлення штока.

Для проведення аналізу використовували штоки, зношені на різних стадіях. Аналіз експлуатаційної спадковості проводили на штоках, які використовувалися при бурінні свердловин на глибину 1200–4550 м. Густина бурового розчину, що перекачувала насосом, становила $1,14\text{--}1,69\text{ г/см}^3$, уміст абразиву в розчині за об'ємом становив 1–3%.

Оцінювання дефектів поверхні здійснювали з використанням мікроскопа МИМ-10 на сегментних зразках, вирізаних зі штоків.

Штоки виготовляли зі сталі 40Х, яка відповідає існуючим типовим технічним умовам. Для зміцнення використовували електрохімічне хромування „хроміном" згідно з типовими технічними умовами на глибину 0,6 мм до твердості 57 HRC з викінчувальною операцією шліфуванням до шорсткості $R_a = 0,4$ мкм. Твердість серцевини штока становила (280–320) НВ.

Мікротвердість зміцнених поверхонь визначали за допомогою приладу ПМТ-3 на косих шліфах від поверхні зразка у глибину, а також на поверхні шліфа вздовж його осі. Заміри мікротвердості здійснювали в десяти різних точках шліфа для кожної зони. Глибину поверхневого шару, зміненого в результаті видів обробки, а також відстань від поверхні зразка до точки відбитка при вимірюванні мікротвердості визначали згідно з загальновідомими методиками.

Наявність у зразках пластичної деформації виявляли 3% розчином азотної кислоти в етиловому спирті й електролітичним травленням.

Для проведення гідроабразивного зношування досліджуваних зразків використовували рекомендації Хрущова і Бабічева, застосувавши схему Веллінгера і Уетца. Абразивним середовищем слугував буровий розчин густиною 1,14–1,69 г/см². Даний вибір був обґрунтований тим, що цей розчин досить точно імітує властивості відомих бурових розчинів. Швидкість абразиву на поверхні рідини складала 2–3 м/с. Тривалість досліджень становила 6, 12 і 24 год. Величину зношування визначали шляхом зважування після просушування зразків.

Для експериментів виготовляли циліндричні зразки діаметром 10 мм, довжиною 75 мм. Зразки зміцнювали за допомогою СВЧ гартуванням при $t = 850^{\circ}\text{C}$ у маслі з низьким відпуском $t = 180^{\circ}\text{C}$. Шліфування зразків після обробок для отримання заданих розмірів проводили на круглошліфувальному верстаті моделі ЗБ12 кругом ЗВ25СМ1К при сильному охолодженні водною емульсією за режимами: швидкість обертання круга $V_{кр} = 39,5$ м/с, швидкість обертання деталі $V_d = 31$ м/хв, поздовжня подача $S_{пд} = 0,2$ м/хв, поперечна подача $S_{поп} = 0,006$ мм/дв. хід.

За механоультразвукової обробки призначали частоту ультразвукових коливань – 20кГц, навантаження на зразок $P = 1000$ Н, припуск на обробку 0,02мм, частоту обертання зразка $n = 630$ об/хв, подачу $S = 0,11$ мм/об. Як технологічне середовище використовували оливу И-20.

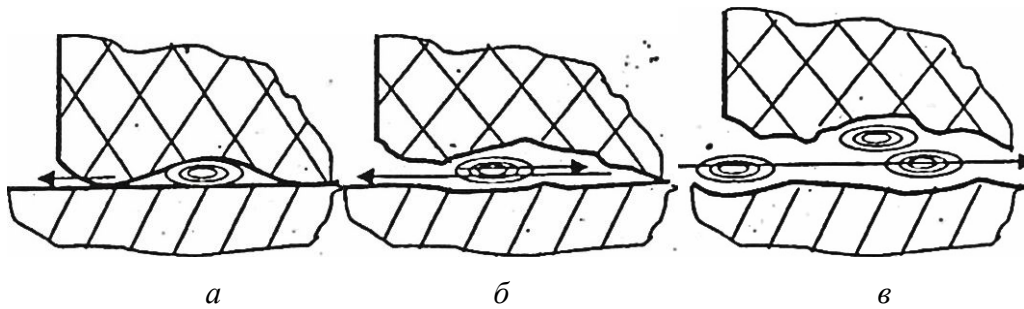


Рисунок 1. Стадії руйнування пари шток-манжета (стрілкою вказано основні рухи бурового розчину)
а – стадія втомного викришування, передеформування контактуючих поверхнь; б – стадія інтенсивного гідроабразивного впливу на контактуючі поверхні; в – стадія локального наскрізного прориву ущільнення і катастрофічного зношування пари.

Електрохімічне хромування проводили відповідно до рекомендацій [3].

Під час експлуатаційних випробовувань було встановлено, що при утворенні задирів, рисок, боріз на робочій поверхні штока, довговічність ущільнюючої манжети суттєво падає. Зношування спряжених пар має своєрідну динаміку: при утворенні навіть незначних за розмірами рисок, задирів, боріз на робочій поверхні штока манжета відносно швидко виходить з ладу.

Відомо, що зношування пари ущільнення – шток здійснюється під дією абразиву, що потрапляє на границю тертя і спричиняє мікрорізання поверхнь пари. Під дією перепаду тисків у процесі поступального переміщення штока матеріал ущільнення манжети, з одного боку, підминається, а з другого – витискається. При перевантаженнях та стрімкому зростанні швидкості руху штока відбувається втомне мікроексплуатаційне країв ущільнення. Однак відсутній аналіз умов, за яких утворюються пітінги крихкого руйнування, старт задиру, мікросколювання, що є важливим у прогнозуванні довговічності штока.

У результаті проведеного аналізу роботи пари шток-манжета можна простежити три фази виходу з ладу штоків. Отже, при терті штока об манжету спостерігається гідрозащемлення деякого об'єму рідини, яка перекачується насосом. При русі штока

цей об'єм рідини з великою швидкістю витісняється через найкоротшу відстань з-під деформованої манжети на зовні. При цьому інтенсифікуються процеси мікрорізання, деформації, що спричиняє зародження пітінгів, подряпин, вм'ятин робочої поверхні штока.

На другій стадії руйнування штока процеси різання, мікросколювання, пластичної деформації ускладнюються інтенсивним впливом гідроабразивного середовища. При цьому відбувається одночасне збільшення зазора в зоні контакту пари й об'єму порожнини в манжеті; на штоці спостерігаються незначні подряпини, вм'ятини, рівчаки, задири.

В момент наскрізного прориву манжети настає лавиноподібне зношування за рахунок утворення потужних гідроабразивних струменів у зоні тертя пари. На цій стадії відбувається швидка втрата працездатності штока.

При турбулентному переносі має місце неперервне чергування випадкових миттєвих швидкостей полів. Це спричиняє утворення невеликих вихрів біля обмежуючих потік нерівностей стінок. При розпаданні вихрів відбувається викид мас рідини та абразиву. Це явище є причиною ударного впливу абразивних частинок на робочу поверхню. Тверді частинки, що містяться в потоці, вдаряють під різними кутами поверхні, що обмежують рух потоку, тим самим спричиняючи зношування. Загальне зношування відбувається як за рахунок тертя частинок по поверхні, так і за рахунок їх ударного впливу. Крім цього, причиною інтенсивного місцевого гідроабразивного зношування при розвитку кавітації може бути наявність швидкісних гідроабразивних струменів, які виникають при заповненні кавітаційних каверн гідроабразивним потоком у момент їх поділу, знищення чи втрати стійкості.

Отже, процес руйнування пари шток–манжета має три стадії (рис. 1):

1. Наклеп поверхні, зародження мікротріщин.
2. Об'єми металу починають відділятися від поверхні, утворення пітінгів, каверн, мікросколів.
3. Інтенсифікація процесу відділення елементів об'єму.

Зношування робочих поверхонь штока проходить як у результаті зрізування мікростружок металу, так і за рахунок вибивання окремих його об'ємів. Кавітаційний вплив носить втомний характер, за рахунок чого відбувається наклеп та передеформація мікрооб'ємів робочих поверхонь. При дії абразиву відбуваються процеси різання, в результаті чого робоча поверхня «розпушується», втрачаючи суттєві мікрооб'єми.

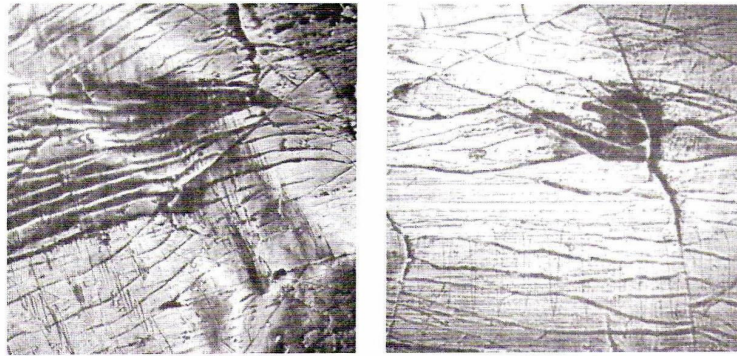


Рисунок 2. Руйнування хромового покриття штока під дією втомних навантажень у процесі припарювання, $\times 30$ р.

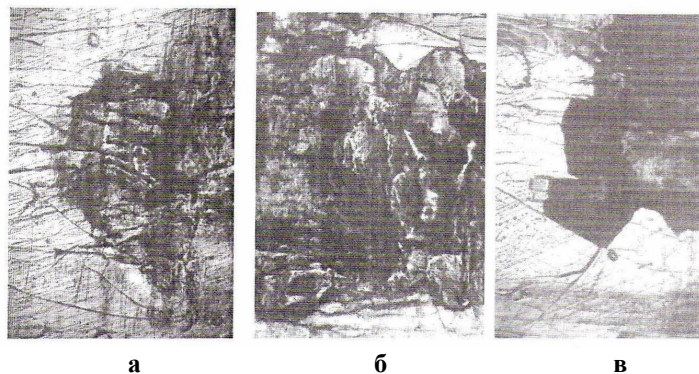


Рисунок 3. Руйнування хромового покриття та приповерхневих шарів штока на другій стадії, $\times 30$ р.

а – утворення мікросколів та подрятин і рівчаків; б – гідроабразивна ерозія та утворення кавітаційних каверн; в – сколювання хромового покриття, задир та ерозійне вимивання основного матеріалу штока

При проведенні аналізу пошкоджень робочих поверхонь хромованих штоків спостерігали зародження та розвиток крихкого руйнування покриття (рис. 2). Зустрічаються два характерні випадки: один – спричинений недостатньою міцністю приповерхневих шарів основного матеріалу (рис. 2а) та зумовлений дефектом покриття (рис. 2б). Механізм руйнування хромового покриття підповерхневих шарів спряжених поверхонь у даному випадку подібний до заїдання. Будучи частковим проявом тертя твердих тіл, заїдання визначається композицією двох різних, але взаємопов'язаних явищ фізичної взаємодії поверхонь і процесів пластичного точіння приповерхневого металу. Поверхневий шар у міру малої товщини безпосереднього впливу на протікання руйнування підповерхневого шару не здійснює. Отже, заїдання розвивається в підповерхневому шарі. Для його виникнення необхідне «схоплювання» підповерхневих шарів спряжених поверхонь. Це підтверджує недостатню міцність приповерхневих шарів. Вказані руйнування спостерігали на першій стадії, в момент припрацювання. На другій стадії руйнування хромованого штока відбувається інтенсифікація мікросколювання покриття, передеформування приповерхневих шарів. У подальшому місцева гідроабразивна ерозія призводить до остаточного руйнування покриття та приповерхневих шарів, спричиняючи задир (рис. 3).

Для встановлення впливу технологічної обробки на утворення пошкоджень поверхні було проведено огляд нових штоків. У результаті цього виявлено дефекти робочих поверхонь штоків як після гартування СВЧ зі шліфуванням (рис. 4), так і після хромовання з подальшим шліфуванням (рис. 5).



Рисунок 4. Дефекти поверхні штока після гартування СВЧ та шліфування, $\times 30$ р.



Рисунок 5. характерні дефекти хромового покриття штока після фінішної обробки $\times 30$ р.

Згадувані дефекти хромового покриття після шліфування призводять до утворення корозійного руйнування приповерхневих шарів штока (рис. 6). Це можна пояснити заводненням приповерхневих шарів основного матеріалу та електрохімічними процесами в зоні тріщини.

Встановлено [7], що повністю усунути утворення тріщин і дефектів при шліфуванні не вдається. Механізм руйнування за умов виявленої негативної технологічної спадковості має характер крихкого низькоенергетичного руйнування, тобто руйнування має транскристалітний характер. Отже, необхідне усунення шліфування, яке несе виявлену негативну технологічну спадковість.



Рисунок 6. Корозійне розтріскування, що розповсюджується по мікротріщинах дефекту хромового покриття, $\times 30$ р.

З метою підвищення довговічності штоків було проведено низку досліджень, що обґрунтували використання механоультразвукового зміцнення робочих поверхонь штоків. Тому було вирішено провести порівняльні випробування на зносостійкість зразків зі сталі 40X після гартування СВЧ та низького відпуску з різними зміцнюючими й викінчувальними обробками.

Отримані дані (рис. 7) засвідчили найкращі результати (найменша втрата маси) в зразках, зміцнених механоультразвуковою обробкою з подальшим розмірним хромуванням. Це зумовлено тим, що механоультразвукова обробка дає можливість отримувати необхідну чистоту й точність поверхні перед хромуванням. Позитивний вплив механоультразвукової обробки на підвищення зносостійкості досліджуваних зразків здійснюють специфічна структура білих шарів, отриманих пластичною деформацією, і наявність твердих складових упорядкованих ультразвуковим впливом,

які сприймають основне навантаження. Фізико-механічні властивості основного матеріалу, сформовані впливом ультразвукової обробки, утруднюють ріст дислокації і чинять опір зрізові, який визначає інтенсивність процесу гідроабразивного зношування в досліджуваних умовах. Крім цього, отримано мозаїкову структуру, що порушує регулярність решітки і рівноважну взаємодію між атомами, перешкоджає переміщенню дислокацій і сприяє підвищенню міцності металу. При повному руйнуванні хромового покриття фізико-механічні властивості приповерхневих шарів, зміцнених механоультразвуковою обробкою, мають суттєві переваги перед структурами, що містять залишковий аустеніт, який володіє нижчою твердістю і зносостійкістю порівняно з мартенситом.

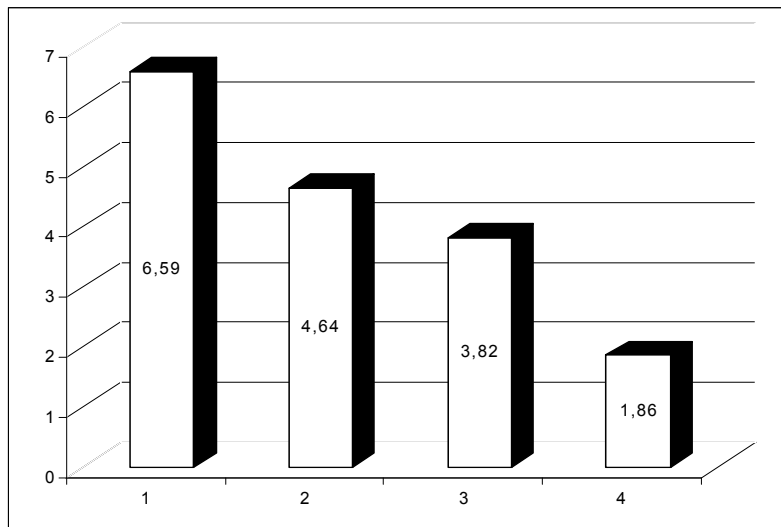


Рисунок 7. Втрати маси зразків з гартованої СВЧ та низьковідпущеної сталі 40X при гідро абразивному зношуванні залежно від видів обробок:

1 – шліфування; 2 – механоультразвукова обробка; 3 – шліфування + хромування + шліфування; 4 – механоультразвукова обробка + хромування

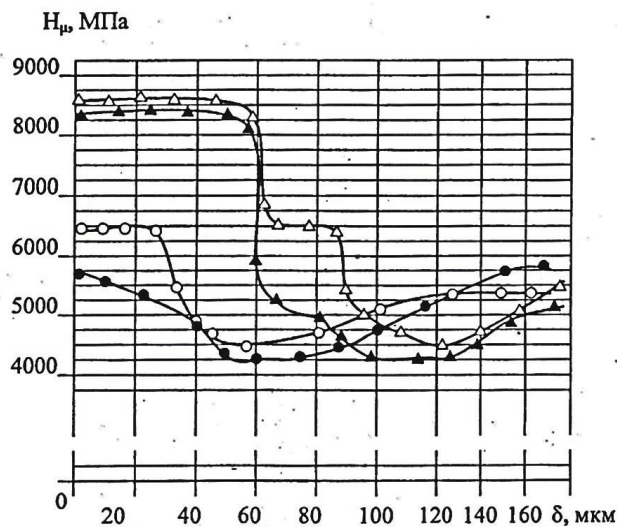


Рисунок 8. Розподіл мікронерівностей зміцнених шарів сталі 40X після СВЧ та низького відпуску
 ● – шліфування; ○ – механоультразвукова обробка, ◻ – механоультразвукова обробка + хромування
 ▲ – шліфування + хромування + шліфування

Аналіз розподілу мікротвердості в досліджуваних зразках (рис. 8) дає можливість зробити висновок, що структури, отримані при механоультразвукової обробці, за даних умов зношування мають суттєві переваги порівняно з гартуванням СВЧ і шліфуванням. Використання механоультразвукової обробки дає можливість отримати більш однорідний розподіл мікротвердості, уникнути високого перепаду між пластичнодеформованими та загартованими поверхневими і приповерхневими шарами робочих поверхонь штока. Зокрема, перехідна зона пластичної деформації, утворена механоультразвуковою обробкою, позитивно впливає на міцнісні властивості приповерхневих шарів.

Висновок. Проведені дослідження засвідчили доцільність внесення змін у технологічний процес виготовлення штока поршня. Поверхнєве СВЧ гартування і шліфування перед хромуванням не забезпечують сталого середньостатистичного напрацювання через недостатню міцність приповерхневих шарів робочих поверхонь штока та негативну технологічну спадковість викінчувальних операцій. Заміна термічної обробки та шліфування на механоультразвукове зміцнення дає можливість підвищувати довговічність штока приблизно у 2–3 рази.

Для усунення виникнення технологічних дефектів необхідно проводити розмірне хромування (температура електроліту (330–332) К, густина струму 30–50 А/дм²). Це дає можливість економити хромовий ангідрид. Результати досліджень упроваджені в технологічний процес на ВАТ „Дрогобицький машинобудівний завод“. Упровадження дає змогу зменшити витрати на шліфування, а також усунути брак, властивий при термічній обробці та шліфуванні в типовому технологічному процесі. Економічна ефективність від упровадження становить 589,0 тис. грн.

У подальшому актуальним є побудова моделі прогнозування зносостійкості матеріалів, зміцнених різними методами, для прогнозування довговічності деталей машин нафтогазової промисловості.

Література

1. Аналіз причин низької зносостійкості вузла ущільнення штока двопоршенового бурового насоса / С.І. Гладкий, В.Р. Харун, Ю.І. Парайко та ін. // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2006. – №2 – С. 105–109.
2. Гладкий С.І. Підвищення довговічності вузла шток – ущільнення штока двопоршневих бурових насосів [Текст]: автореф. дис. ... канд техн. наук: 05.05.12 / С.І. Гладкий. – Івано-Франківськ, 2007. – 19 с.
3. Ахадов Г.Г. Повышение износостойкости деталей нефтепромышленного оборудования / Г.Г. Ахадов // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1992. – №6 – С. 30–32.
4. Підвищення довговічності роботи штоків бурових насосів двохсторонньої дії: матеріали VI міжнародної наук.-практ. конф. «Нафта і газ України – 2000». – Т.2 / А.М. Чернявський, М.П. Нестеренко, О.І. Пронь. – 31 жовтня – 3 листопада. – Івано-Франківськ: Факел, 2000. – С. 344–345.
5. Петрина Ю.Д. Підвищення довговічності штоків бурових насосів / Ю.Д.Петрина, А.В. Швадчак, Р.С. Яким // Сьомий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: тези доповідей 18–20 травня 2005 р. – Львів. – КІНПАТРИ ЛТД. – С.121.
6. Одесій З.М. Підвищення роботоздатності змінних деталей бурових насосів / З.М. Одесій, Ю.Д. Петрина, Р.С. Яким // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: методи і засоби технічної діагностики. – Івано-Франківськ. – 1999. – №36. – С.323–329.
7. Зелений А.М. Технологічне забезпечення якості поверхневого шару роликів витяжних механізмів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / А.М. Зелений. – Одеса, 2002. – 20с.

Отримано 02.02.2011