РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

УДК 621.382

Ю. І. Парайко, канд. техн. наук, доц.

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ГАЗОПЕРЕКАЧУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ РЕСУРСУ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
no@nung.edu.ua

Виконано аналіз недостатньої зносостійкості деталей і вузлів обладнання газотранспортних підприємств, розроблена установка і технологія досліджень, запропонована вдосконалена технологія зміцнення поверхневих шарів деталей, що працюють в інтенсивному газоабразивному потоці боруванням. Проведені промислові випробування.

Вступ. Обладнання газових промислів України експлуатується, як правило, в екстремальних умовах, що у більш ніж 70…80% приводить до передчасних відмов вузлів тертя.

До першочергових задач підвищення ресурсу нафтогазового обладнання відноситься розробка або вдосконалення зміцнюючих технологій відповідальних деталей і вузлів тертя, що працюють в умовах інтенсивного газоабразивного зношування. Це стосується сідел і шиберів запірних елементів, окремих елементів фонтанних арматур, (кутники, відводи, хрестовини, трійники і ін.), штуцерів, перевідників, ущільнюючих елементів, деталей газопрперекачуючих агрегатів.

Основна деталь газоперекачуючого агрегату – робоче колесо – одна з самих ненадійних ланок, що інтенсивно зношуються, в результаті чого значно погіршуються газодинамічні характеристики відцентрових компресорів, зменшується їх міцність та ресурс [1].

Зношування нагнітачів газоперекачуючих агрегатів до неприпустимих величин триває протягом 13000 год. В подальшому це призводить до підрізання робочих лопаток, заклепок та до місцевого обривання корпусного диску [2].

В СНД промисловість випускає робочі колеса відцентрових компресорів 2-х типів: одноярусні типу 260, 370, 520 і двоярусні 280, 370-18, та 520. В одноярусних робочі лопатки мають однакову довжину, в двоярусних в наявності почергово довгі лопатками і короткі.

В одноярусних колесах найбільш інтенсивно зношуються вхідні кромки лопаток в місцях з'єднання з корпусним диском. В той же час двоярусні колеса інтенсивно зношуються по поверхні лопаток (довгі лопатки) і по місцю з'єднання з корпусним диском (короткі лопатки).

Слід вказати, що газ, який перекачується містить значну кількість механічних домішок (до 2–8 мг/м^3) і існуючі технології не забезпечують необхідну очистку. Тому підвищення якості, надійності і довговічності газотранспортного обладнання безпосередньо пов'язане з забезпеченням високої зносостійкості їх деталей та вузлів.

Постановка завдання. З проведеного аналізу видно, що недостатній ресурс вузлів і деталей нафтогазового обладнання що працює в умовах інтенсивного газо абразивного спрацювання обумовлений недосконалою технологією виготовлення, що наносить значні економічні втрати..

Робочі колеса виготовляються з легованих сталей 34ХН3М і 34ХН3МА ОТУ 24-10.003-88. Технологія виготовлення передбачає використання кованих заготовок, термічну та механічну обробку цих заготовок, тобто виготовлення деталей та збирання колеса. Для забезпечення необхідних для даної деталі механічних властивостей проводиться попередня і кінцева термічна обробка. Попередня термічна обробка (відпуск) проводиться безпосередньо після кування з метою запобігання утворення флокенів та для зниження твердості, для проведення в подальшому якісної механічної обробки. Кінцева термообробка (нормалізація з високим відпуском) забезпечує утворення необхідної структури металу та дозволяє отримати заданий рівень механічних властивостей [3]: $\sigma_в$ = 780 – 820 МПа, δ = 11…14 %, ψ =34…40 %, 28 HRC.

Однак сталі, що використовуються, не дозволяють отримати необхідний рівень зносостійкості при даній технології виготовлення робочих коліс.

Аналіз існуючих технологій підвищення зносостійкості подібних виробів показав, що вибір видів термічної обробки, наплавлення, напилення, зміцнення поверхневою пластичною деформацією неприпустимий та малоефективний з таких причин:

– термічна обробка не дозволяє отримати поверхню з високою мікротвердістю, яка б відповідала мікротвердості абразивних частинок. Термообробка викликає короблення поверхонь, а це важ-

ко і довго ліквідовувати;

– використання наплавлення і напилення не раціонально і не можливо через складність профілю лопаток;

– основний недолік оброблення робочих поверхонь технологією зміцнення поверхневою пластичною деформацією не задовольняє вимогам твердості.

Технологія, яка б забезпечила необхідну зносостійкість при нанесенні захисних покриттів в даному випадку повинна задовольняти наступні вимоги:

– високий рівень зносостійкості захищених поверхонь;

– відмінні адгезійні властивості;

– не погіршувати аеродинамічні характеристики газу, що перекачується;

– дозволяти використання на існуючих газотранспортних підприємствах.

При виборі оптимальної технології пропонується використовувати розроблену універсальну класифікацію технологій підвищення зносостійкості вузлів тертя нафтогазового обладнання та науковий підхід у трибоматеріалознавства [4; 5]:

Вибір оптимальної технології зміцнювання вимагає розроблення методики та спеціальної машини тертя з можливістю відтворення натурних процесів при проведенні лабораторних досліджень.

Мета таких досліджень – визначення загальних закономірностей спрацювання і вивчення механізму руйнування новостворених чи вдосконалених покрить при дії газо абразивного потоку.

Для проведення випробувань розроблено ряд лабораторних установок і стендів, що розрізняють за конструктивними ознаками і методами організації газоабразивного потоку. В роботах [7; 8] запропонована така класифікація існуючих стендів (рис. 1):

- гравітаційні (*а*, *б*);
- механічні (*в*, *г*);
- з забезпеченням подачі газового струменя (*д*, *е*, *ж*).

Гравітаційні установки не знайшли розповсюдження через обмеженість швидкості руху абразиву. Основні недоліки пневмоустановок наступні:

– аеродинамічні характеристики потоку видозмінюють і спотворюють кути атак по величинах швидкості взаємодії абразиву та взірців, що випробуються;

– швидкість абразивних частин значно менша швидкості потоку повітря (чи газу) та суттєво залежить від розміру частинок.

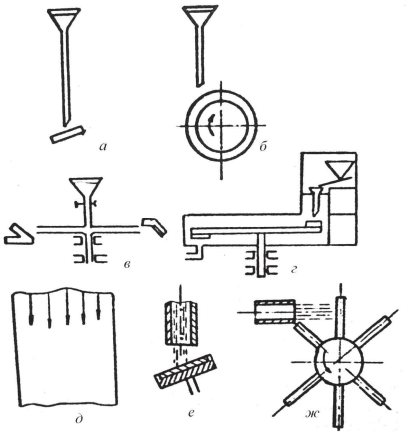


Рис. 1. Принципові схеми установок для дослідження газоабразивного зношування: *а*, *б* – гравітаційні; *в*, *г* – механічні; *д*, *е*, *ж* – газового потоку

Аналіз результатів випробувань дозволяє рекомендувати використання механічних лабораторних установок (стендів).

Переваги таки установок наступні:

– висока продуктивність та зручність в обслуговуванні;

– забезпечення стабільної швидкості руху абразивних частинок в потоці;

– постійність траєкторій руху частинок;

– можливість одночасного дослідження значної кількості зразків (в т.ч. і з різною твердістю поверхні), що дозволяє отримати результати з стовідсотковим збереженням ідентичності випробувань.

Проте, існуючі схеми випробувань (рис. 1) і установки [9; 10] не дозволяють проводити досліди з потрібною зміною характеристик випробувань: кута атаки, швидкості частинок, густини потоку, та ін. Необхідно при випробуваннях забезпечити стабільність проведення експериментів, особливо це стосується взаємодії абразиву з досліджуваними зразками.

При випробуваннях в даних установках виникають труднощі в забезпеченні необхідної точності і достовірності досліджень. Викликано це тим, що після взаємодії з поверхнею зразка абразивні частинки відбиваються від його поверхні відразу, або після рикошету від верхньої кришки установки або бункеру, потрапляють повторно на зразок, або, потрапляючи на ротор, розгоняться і повторно взаємодіють з зразком.

Враховуючи вищевикладене, актуальною стала задача розробки лабораторної установки для відтворення газоабразивного спрацювання матеріалів і покрить, визначення їх стійкості, дослідження зміни стану поверхні після зношування. Нами розроблена вдосконалена лабораторна установка. На рис. 2 показано загальний вигляд установки.

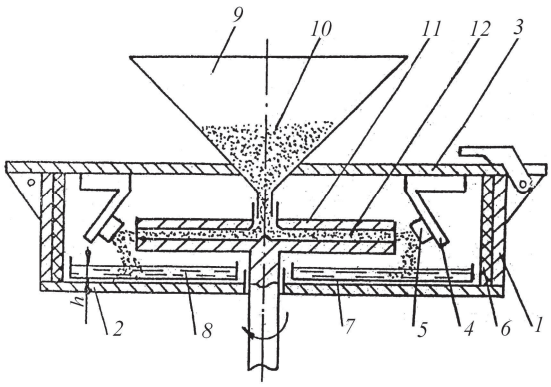


Рис. 2. Загальний вигляд модернізованої установки для дослідження газоабразивного зношування

Методика дослідження. Дана установка містить камеру, яка складається з циліндричної бокової поверхні *1* нижньої *2* і верхньої *3* кришок, тримачів зразків *5*, протектора 6, що попереджує рикошет частинок від поверхні бокових стінок камери *1*, посудину *7*, встановлену на нижній кришці *2*, які заповнена в'язкою рідиною *8*. Крім того, пристрій включає систему подачі газоабразивного потоку з бункеру *9* з абразивом *10*, ротора *11* з радіальними каналами *12* і приводу обертання ротору (на рис. 2 не показано).

Абразивний матеріал *10* з бункеру *9* попадає в ротор *11*, який обертається приводом, наприклад, електродвигуном постійного струму. По радіальних каналах *12* відцентровою силою абразивні частинки розганяються і направляються на робочу поверхню досліджуваних зразків *5* і в зазор між зразками, на циліндричну бокову поверхню *1*. Завдяки наявності протектора *6*, який є демпфуючою поверхнею або ковзким шаром рідини, кінетична енергія абразивних частинок, що пролетіли між зразками гаситься, і вони з нульовою горизонтальною складової швидкості попадають на дно пристрою.

Утримувачі *4* зразків *5* закріплюються на площині розміщеній вище площини ротора *11*, наприклад, на внутрішній стороні верхньої

кришки *3* пристрою, при цьому вони орієнтуються в просторі таким чином, щоб нормаль від їх робочої площини була спрямована до дна пристрою. При такому розміщенні зразків забезпечується відбивання абразивних частинок на дно *2* установки в посудину *7*, заповнену в'язкою рідиною *8*, наприклад, оливою. Товщина *h* рідини *8* вибирається з умови повного гасіння кінетичної енергії абразивних частинок, відбитих від робочої поверхні зразка, виключаючи їх повторну взаємодію з поверхнею зразка *5*. Форма посудини *7* вибирається такою, щоб дзеркало рідини *8* повністю покривало місця найбільш імовірної появи відбитих від зразків абразивних частинок.

Використання верхнього розміщення зразків, при якому відбитий абразивний потік спрямовується на дно установки і його кінетична енергія гаситься, дозволяє уникнути повторних взаємодій з досліджуваним зразком, що значно стабілізує умови випробовувань, підвищує достовірність і точність результатів досліджень.

На даний пристрій отримано патент [11] і пристрій було виготовлено для проведення випробувань.

Технічна характеристика розробленої установки:

- частота обертів ротора – 0…6500 об/хв.;
- діаметр ротора – 285 мм;
- кількість одночасно встановлених взірців – 12;
- двигун ДСМ-ГП, потужність – 2 кВт;
- маса – 130 кг.

В якості абразивного матеріалу використовувався кварцовий пісок з мікротвердістю 10,0…11,0 кН/мм^2. Враховуючи реальний розмір абразивних частинок в газовому потоці, що перекачується, дослідження проводились з використанням частинок розміром 0,2 … 0,4 мм, 0,4…0,6 мм та при кутах атак 4º, 6º, 8º, 10º, 15º, 22º і 30º, що відповідає фактичним кутам атаки даних частинок з поверхнею лопатки відцентрових коліс компресорів.

Залежність швидкості абразивних частинок від частоти обертання ротора визначили з залежності [9]:

$$n = K_c \frac{1000 \cdot 60}{\pi \cdot D}, \qquad (1)$$

де n – частота обертання ротора; K_c – коефіцієнт, що враховує гальмування абразивних частинок повітрям; D – діаметр ротора.

Випробування проводили з взірцями, виготовленими з зміцненням їх гартуванням, азотуванням, боруванням, а також з сталі

без термообробки. На основі реальних умов роботи робочих коліс компресорів і визначеного питомого навантаження на одиницю площі лопатки, розрахована кількість маси абразиву – 20 кг.

З метою кількісної оцінки зносостійкості взірців вибрано показник, рівний $\frac{\Delta I}{Q}$, де ΔI – втрата маси взірця, Q – маса використаного абразиву [8; 9].

Результати експериментів. Попередні дослідження показали, що борування є ефективним способом зміцнення поверхонь (рис. 3, 4).

Аналіз стану поверхні і величини зносостійкості (рис. 5–7) борованої сталі 34Х3МА дозволяє встановити, що поверхня утворюється неоднорідна з наявністю певних мікроутворень – тріщин (шихта № 1). В зв'язку з цим було розроблено новий склад шихти, що дозволив отримати зміцнений шар без явних проявів тріщин (рис. 4) і отримати авторське свідоцтво [12]. На рисунках з вказанням інтенсивності зношування позначені відповідно:

1 – сталь 34Х3МА без термообробки;

2 – сталь 34Х3МА, загартована на мартенсит;

3 – сталь зміцнена азотуванням;

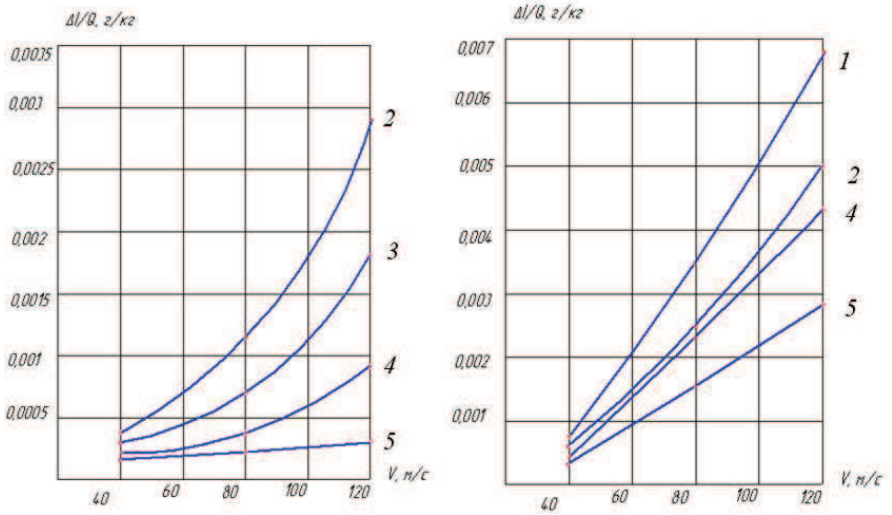
4 – борована сталь 34Х3МА з боруванням у шихті №1 (карбід бору – 81 %, бура – 16 %, хлористий амоній – 2…3 %);

5 – борована сталь 34Х3МА з боруванням у шихті №2 (карбід бору – 52…65 %, бура – 5…8 %, хром – 15…20 %, марганець – 3…5 %, фтористий натрій 4…5 %, окис кремнію – 8…10).

Оптимальні режими борування сталі 34Х3МА – температура 1160 К, час – 8 год.

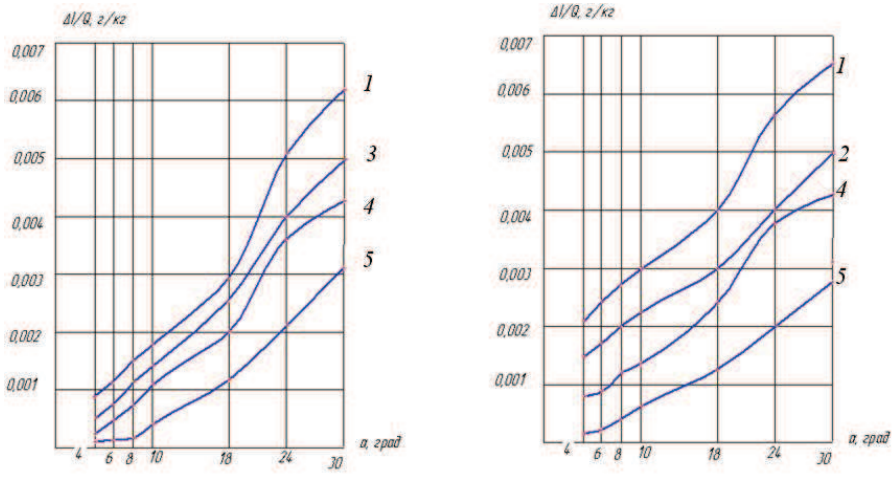
Проведені дослідження дозволили встановити залежність відносної інтенсивності зношування зразків сталі 34Х3МАпри різних швидкостях потоку і кутів атаки абразивних частин (рис. 3, та рис. 4).

Аналіз отриманих залежностей дозволяє встановити закономірність зношування, яка полягає в тому, що абразивні частинки розміром 0,4…0,6 мм приводять до значно більшого спрацювання зразків, що можна пояснити ростом кінетичної енергії удару даної частинки через більшу масу. Крім цього, кути атаки і зростання швидкості здійснюють основний вплив на інтенсивність зношування: з їх збільшенням інтенсивність спрацювання значно зростає.



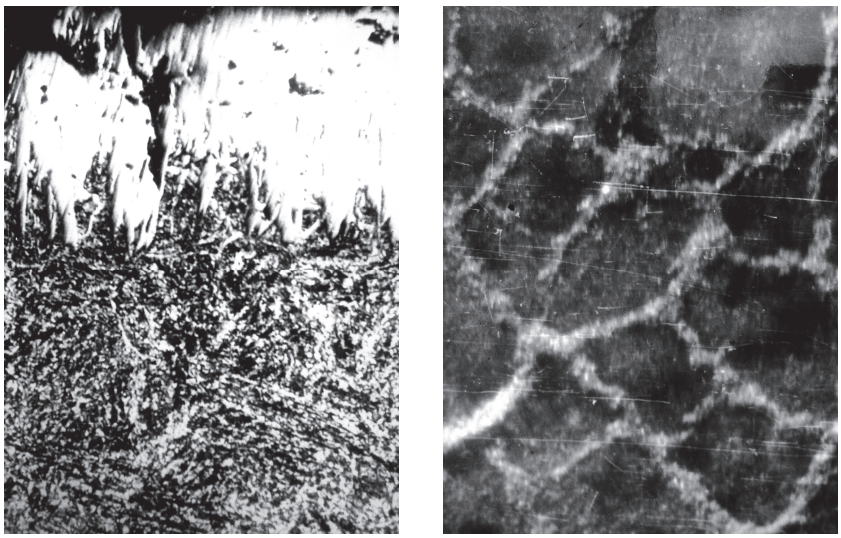
а *б*

Рис. 3. Залежність інтенсивності зношування від швидкості абразивних частин: *а* – α=6º; *б* –α=30º



а *б*

Рис.4. Залежність інтенсивності зношування від кута атаки: *а* – *V* = 40м/с; *б* – *V* = 120м/с.

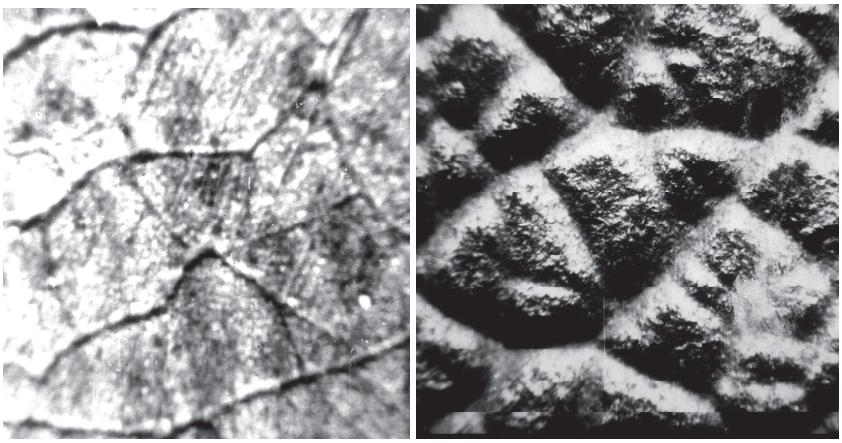


а *б*

Рис. 5. Борований шар поверхні сталі 34Х3МА у складі шихти №1 (×2000): *а* – поперечний вигляд захисного покриття в шихті *1* після борування; *б* – вид зверху покриття після борування в шихті *1*



Рис. 6. Вигляд шліфу поверхні сталі 34Х3МА після борування у шихті №2

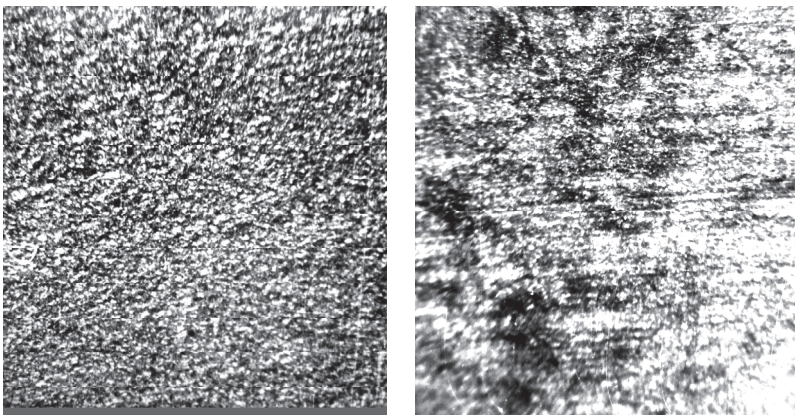


а *б*



в

Рис.7. Механізм зношування взірців з зміцненою поверхнею борування в шихті 1: *а* – перед початком випробувань; *б* – після 30% ресурсу випробувань; *в* – після 80% ресурсу випробувань



а *б*

Рис.8. Механізм зношування взірців з зміцненою поверхнею борування в шихті 2: *а* – після 30% ресурсу випробувань; *б* – після 80% ресурсу випробувань

Необхідно вказати, що процес зношування зразків, зміцнених боруванням в шихті №1 полягає в утворенні сітки мікро тріщин, які зростають з часом випробувань (рис. 7, *а*, *б*) і призводять в кінці до катастрофічного зношування. Насамперед це пов'язано з високою крихкістю борованого шару та різницею в знаках внутрішніх залишкових напружень.

Запропонована технологія борування у шихті №2 [12] дозволила отримати набагато кращі результати, оскільки зносостійкість цих зразків у 1,3 – 2 рази вища, ніж в інших (рис. 6 та рис. 8, *а*, *б*).

Результати випробувань дозволили рекомендувати розроблену технологію борування для зміцнення робочих коліс відцентрових компресорів. Проведені промислові випробування показали, що ресурс серійних коліс рівний 13 000 – 20 000 год, а зміцнених боруванням в шихті № 2 – до 32 000 год і більше.

Висновки. Основним фактором, що призводить до передчасного виходу з ладу газотранспортного обладнання є інтенсивне газоабразивне зношування.

Встановлено, що підвищення ресурсу деталей газотранспортного обладання, яке працює в умовах газоабразивного потоку – зміцнення робочих сталевих поверхонь хіміко-термічною обробкою – боруванням.

Розроблено методику і установку для дослідження газоабразивного зношування та вдосконалену технологію зміцнення. Вивчений механізм руйнування поверхонь, зміцнених боруванням, що дозволило запропонувати дану технологію для впровадження.

Список літератури

1. *Парайко Ю.І.* О выборе метода химико-термической обработки и особенности изнашивания деталей газотранспортного оборудования/ Ю.І.Параско // Тезисы Всесоюзной конференции «Химико-термическая обработка металлов и сплавов», г. Ленинск, 1981.

2. *Щуровский В.А.* О характере эрозионного износа проточной части центробежных нагнетателей природного газа/В.А.Щуровский, Ю.Н.Синицын, В.И.Глушков, В.К.Суринович // Сборник ВНИИЭГАЗПРОМА, №3, – 1978.

3. *Термическая* обработка в машиностроении: справочник, под ред. Ю.М.Лахтина, А.Г. Рахштодта. – М: Машиностроение. 1980. – 783 с.

4. *Лабунец В.Ф.* Материаловедение – основа развития современной триботехники / В.Ф.Лабунец, Л.С.Братица, Т.С.Климова, Н.А. Медведева // Проблеми тертя та зношування. наук.-техн.зб.–К.: НАУ. – 2010.– Вип.53. – С. 34–41.

5. *Парайко Ю.І.* Фундаментальні основи надійності вузлів тертя машин та обладнання нафтогазової промисловості / Ю.І.Парайко // Проблеми тертя та зношування. наук.-техн.зб.–К.: НАУ. – 2010.– Вип. 53. –С.12–25.

6. *Клейс И.Р.* Анализ схем установок для испытания на ударный износ / И.Р.Клейс // Труды ТПИ, Таллин, 1965. – С. 17–25.

7. *Бирюков В.И.* Абразивное изнашивание газопромыслового оборудования / В.И.Бирюков, В.Н.Виноградов, М.М.Мартиросян, В.Н.Михайличев. – М., Недра, 1977.

8. *Клейс И.Р.* Нове механические установки для исследования абразивной эрозии/ И.Р.Клейс, Х.Х. Уцемыйс // Весник машиностоения. – 1971. – №9. –С. 13–15.

9. *Клейс И.Р.* Центробежный ускоритель ЦУК-3М для определения относительной износостойкости материалов при абразивной эрозии/ И.Р.Клейс// Труды ТПИ, 1970, сер А № 294, –С. 23–33.

10. *Авторское* свидетельство СРСР №953523. «Испытательная установка на газоабразивное изнашивание.

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

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

Парайко Ю.И. **Закономерности изнашивания рабочих поверхостей газоперекачивающего оборудования и разработка технологий повышения их ресурса**// Проблеми тертя та зношування: наук. техн. зб. – К.: НАУ, 2011. – Вип. 56. – С.71–83.

Выполнен анализ недостаточной износостойкости деталей и узлов оборудования газотранспортных предприятий, разработана установка и технология исследований, предложенная усовершенствованная технология упрочнения поверхностных слоев деталей, работающих в интенсивном газоабразивном потоке борирования. Проведенные промышленные испытания.

Рис. 8, список лит.: 12 наим.

Parayko Y.I. **Conformities of gas pumping equipment working surfaces deterioration and development of resource increasing technologies**

The analysis of lack of durability of parts and components of gas equipment companies, a device and technology research, the proposed advanced technology to strengthen the surface layers of parts operating in the intensive gas-abrasive stream borating. Conducted industrial tests.

Стаття надійшла до редакції 29.09.2011