

направлення регулювання секцій по різно-висотності) з метою забезпечення рівної на-груженості опор.

3. Отримані на етапі моделювання в ADAMS результати по контактним силам, що виникають в результаті роботи долота, якіс-твенно збігаються з математичною моделлю збирання секцій долота під сварку, що підтвер-джує достовірність розробленої математи-чної моделі структурно упорядкованої зби-рки.

1 Журавлев А.Н., Борисов М.А. Структур-но упорядкована збірка під сварку різьбових з'єдинень алмазних бурових долот // Сборка в машинобудуванні, приборобудуванні. – 2007. – № 7. – С. 18-23.

2 Журавлев А.Н., Борисов М.А. Оцінка які-сства структурно упорядкованої збирання під сварку різьбових з'єдинень. // Известия том-ського політехнічного університету. – 2007. – Том 311. – №2. – С. 27-30.

3 Морозов Л.В., Богомолов Р.М. Селектив-на комп'ютерна збірка бурових шарошеч-них долот // Сборка в машинобудуванні, приборобудуванні. – 2003. – №6. – С. 34-38.

УДК 622:621.65

## РЕЗУЛЬТАТИ СТЕНДОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПРОМИСЛОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ЗМІЦНЕНИХ ПАР ТЕРТЯ ПОРШНЕВИХ НАСОСІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ ПРИ ЗВОРОТНО-ПОСТУПАЛЬНОМУ РУСІ

С.І.Гладкий

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 774419

e-mail: yozh@nimg.edu.ua

*Виконані стендові дослідження изнашива-ння вузлів типу «уплотнение-штоки» бурових насо-сов, що працюють при зворотно-поступальному русі. Приведені результати порівняльних стендових випробувань зразків, отриманих по роз-робленої оптимізованої технології газотер-мического напылення, і зразків, виготовлених по стандартним технологіям. Промислові випробу-вання підтвердили ефективність запропоно-ваної технології плазменного напылення робочої поверхності штоків бурових насосів порошковими композиційними покриттями.*

*Bench research has been conducted to investigate the detrition of nodes, rod seal type, in drilling pumps that work at alternate motion. In the article there have been given the results of comparative bench tests of spices received due to the developed optimized technology of gas-thermal sputtering and of spices manufactured by standard technologies. The industrial tests have proved the effectiveness of the offered technology connected with the plasma spraying of the operation surfaces of drilling pumps' rods by powder composite coatings.*

Для підвищення надійності, довговічності виробів машинобудування та їх економічності актуальною стає проблема вибору матеріалів пар тертя. Особливо важливою ця проблема є для вузлів ущільнення-штоки бурових поршне-вих насосів, що працюють в екстремальних умовах (високі швидкості ковзання, великі пи-томи навантаження, високі температури, агре-сивність та абразивність перекачуваного сере-довища тощо.). Для роботи в таких умовах по-трібні матеріали із складним комплексом фізи-ко-механічних властивостей, що забезпечать необхідну довговічність обладнання в цілому.

Ефективним вирішенням проблеми може бути тільки науково обґрунтований підбір ма-теріалів пар тертя з наперед заданим комплексом властивостей, що базується на використан-ні даних стендових досліджень. Такими влас-тивостями володіють композиційні покриття, одержані газотермічним напыленням [1].

Випробування на тертя та зношування здійснювалось на стенді зворотно-поступального

руху за розробленою методикою [2]. Для порі-вняння за аналогічними програмами випробу-вані плазмові покриття, напылені самофлюсо-ючим порошком типу ПГ-10Н-01 (ТУ 48-19-383-86), і зразки із сталі 40Х, зміцнені СВЧ та хро-муванням за стандартними технологіями. Тов-щина плазмових покриттів після доводки скла-дала 0,15-0,20 мм. Враховуючи вимоги до пари тертя „штоки-ущільнення” бурового насоса, ви-хідна шорсткість поверхонь всіх металевих зра-зків була однаковою і складала Ra=0,4.

У практиці буріння свердловин з метою економії бурового розчину гуматні, кальцієві (вапнисті, гіпсові, хлоркальцієві) та інші розчи-ни переводять в калієві. Для таких розчинів ба-зується на специфічній здатності іонів калію вільно проникати у міжплощинний простір, міцно зв'язуючи елементарні частинки породи, попереджаючи їх набрякання і диспергування [3]. Глини стають слабкогідратованими з під-вищеними значеннями механічної міцності і водостійкості. Застосовують калієві бурові

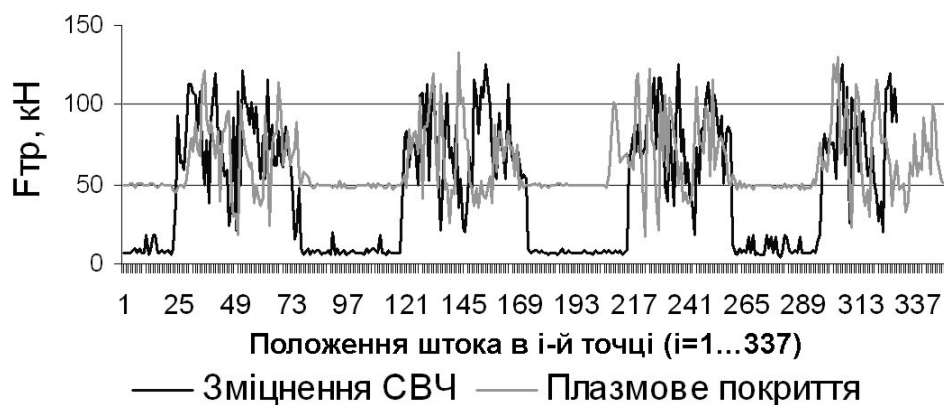


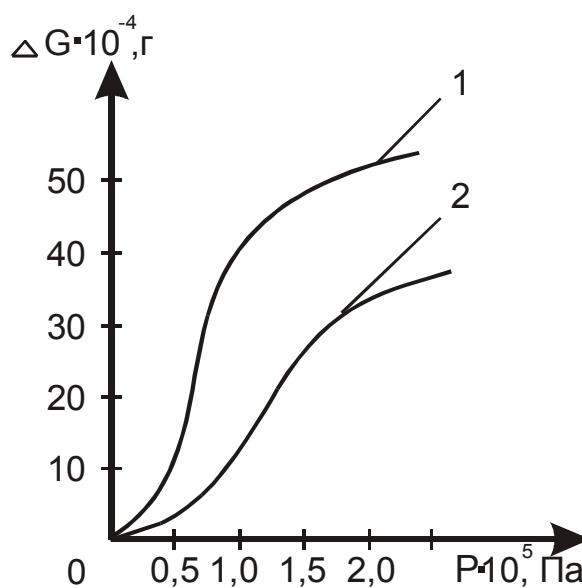
Рисунок 1 – Діаграми зміни сил тертя при дослідженнях на буровому розчині в процесі випробувань (P=10 МПа) через 60 годин випробувань.

інгібуючі розчини в процесі буріння нестійких глинистих порід, ускладнених горизонтів, які характерні для розвіданих родовищ нафти і газу на території України. Тому під час проведення стендових досліджень застосовували хлоркалієвий буровий розчин, 1 м<sup>3</sup> якого складався [4] з наступних компонентів: 60-70 кг бентонітової глини, 30 кг хлористого калію (ГОСТ 4568-83), 5 кг карбоксиметилцелюлози (КМЦ-700), 40 кг конденсованої сульфит-спиртової барди (КССБ-2), 5 кг КОН, 2 л піногасника (МАС-200), 920-940 л води та залізного обважнювача (гематит) до заданого значення густини (ТУ 39-035-74). Густина бурового розчину становила 1700-1800 кг/м<sup>3</sup>, концентрація іонів водню рН=9, умовна в'язкість T=80 с, вміст твердої фази – до 4%. Для відтворення реальних умов експлуатації наведений компонентний склад бурового розчину дає можливість імітувати реальні умови роботи вузла шток-ущільнення штока гідравлічної частини бурових насосів.

Стендові трибовипробування проводились в буровому розчині та чистій воді при різних питомих тисках 5, 10, 15, 20 МПа.

Як засвідчують діаграми, при найменших порушеннях досліджуваних поверхонь, високочутливі датчики реагували навіть на незначні збільшення сили тертя, а динамічні навантаження мали складний характер. З порівняльних діаграм (рис. 1) встановлено, що при терті поверхні напиленої за плазмовою технологією сила тертя за однаковий час випробувань менші. При низьких тисках (до 5 МПа) спостерігалось незначне зношування як гумових зразків, так і нагрів та зношування сталевих зразків (рис. 2).

В цьому випадку знос сталі 40X і напиленої сталі відрізнявся не більш, ніж в 1,1-1,2 рази. Збільшення контактного тиску викликало підвищення температури нагріву і окислення зразків із Сталь 40X, причому окисли за короткий час зношувались абразивним середовищем, яке міститься в буровому розчині, що викликало також і зношування основного металу. В результаті при тисках 10-15 МПа зношування зразків із загартованої СВЧ сталі в 2,2- 2,5 рази переважало зношування напиленої сталі.



1 – сталь 40X загартована СВЧ, HRC 52-55; 2 – зразок сталь 40X напилений композиційним порошком ПГ-10Н-01, HRC 60-62

Рисунок 2 – Зношування зразків у буровому розчині залежно від питомого тиску за 20·10<sup>4</sup> циклів

При подальшому збільшенні питомого тиску підвищення зношування сталі 40X уповільнювалось. Це пояснюється тим, що основне її зношування (найбільш ймовірно) проходить через окислення. Підвищення тиску викликає ріст нагріву й прискорення утворення окисної плівки, яка вже не встигає усуватись абразивом. Останнє узгоджується з роботою [5] про те, що окислювальний знос обумовлюється як швидкістю росту окисної плівки, так і швидкістю її усунення.

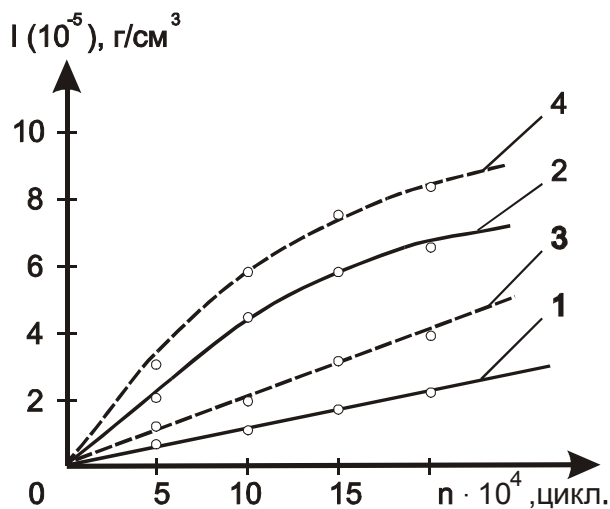
У зв'язку з тим, що лінійна швидкість зразків, кількість абразиву в середовищі досліджень були приблизно однаковими, то причиною збільшеного зносу сталі 40X зміцненої СВЧ та сталі 40X зміцненої хромованням є менші стійкість до окислення та зносостійкість.

Підвищена зносостійкість напиленого самофлюсуючого сплаву ПГ-10Н-01 на основі

нікелю обумовлена наявністю значної кількості зміцнюючої фази ( $Ni_3B$ ,  $Ni_2B$ ,  $NiB$ ,  $Ni_4B_3$ ), частинки якої гальмують розвиток втомних процесів у нікелевій матриці [6]. Крім того, всі тверді складові досліджуваного покриття мають повну змочуваність розплавом нікелю, що зумовлює максимальне зчеплення з нікелевою матрицею. М'яка матриця піддається багаторазовому передоформуванню з утворенням подряпин продуктами зношування. Про значне передоформування м'якої матриці свідчить подрібнення розмірів кристалів. Наявність карбиду бору  $B_4C$  забезпечує зміцнення нікелевої матриці, що зменшує процеси її деформування і дряпання. Зміцнені СВЧ поверхні сталі 40X за своїми трибологічними властивостями поступаються поверхні напильній порошковим покриттям ПГ-10Н-01. Слід зазначити, що стійкість до зношування поверхонь зміцнених СВЧ і хромуванням достатньо висока, однак спостерігався значний знос. Це зумовлено зношуванням твердими абразивними частинками бурового розчину, так як після випробувань поверхні тертя не мали слідів виривання мікрочастинок матеріалу, а мали характерні для гідроабразивного зношування риси вздовж шляху ковзання.

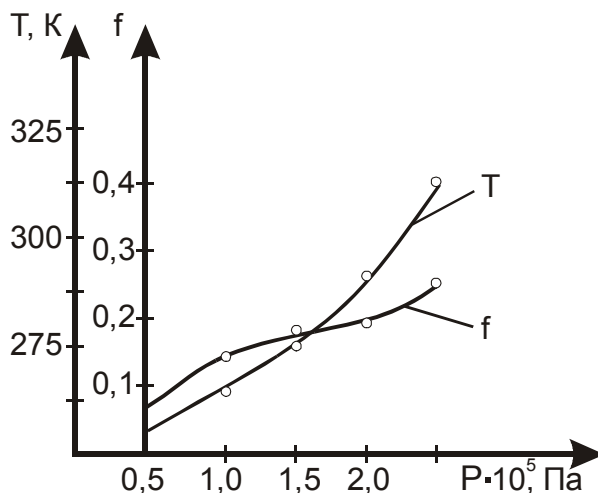
При випробуваннях проводилось кількісне порівняння зношування гумових зразків при дослідженнях на глинистому буровому розчині. Встановлено, що при терті гумових зразків по напильній сталі зношування в 2,2-2,4 рази менше, ніж по сталі 40X зміцненій СВЧ і в 1,6-1,8 рази менше, ніж по сталі 40X зміцненій хромуванням.

Вплив корозійного середовища на інтенсивність поверхневого зношування проявляється значніше в парах гума-сталь 40X зміцнена СВЧ та гума – сталь 40X зміцнена хромуванням (рис. 3).



**Рисунок 3 – Залежності інтенсивності зносу гуми від числа циклів випробувань на воді (1 – поверхня контрзразка загартована СВЧ; 3 – поверхня контрзразка напильна порошковим плазмовим покриттям ПГ-10Н-01) та буровому розчині (2, 4)  $P=15$  МПа**

Суттєвий вплив на поведінку матеріалу при терті здійснювала температура, що виникала на контакті, яка визначала тепловий режим і в більшій мірі фрикційну взаємодію спряжених матеріалів. Так (рис. 4), при збільшенні навантаження спостерігалось підвищення температури у зоні тертя та збільшення інтенсивності зношування (рис. 3) за рахунок термодеструкції поверхневих шарів гуми.



**Рисунок 4 – Температура та коефіцієнт тертя при дослідженнях на буровому розчині пари гума-сталь 40X зміцнена композиційним порошком ПГ-10Н-01 залежно від питомого тиску за  $2 \cdot 10^5$  циклів**

Гумові зразки при терті проявляли ряд особливостей. Так, періодичні зупинки приводили до підвищеного зношування гумових зразків за рахунок повторюваності циклів припідняття поверхонь, мікрорельєф яких зазнає деяких змін, зв'язаних з перерозподілом напружень в поверхневих шарах внаслідок повернення деформованих полімерних молекул в рівноважний стан та різної деформаційної здатності ділянок молекулярних структур [7]. З ростом температури та нормальних навантажень у міжструктурних областях гуми достатньо швидко утворювались мікротріщини.

Слід зауважити, що збільшення навантаження на пару тертя гума-метал супроводжувалось інтенсифікацією втомних процесів у зоні тертя. Це приводило до об'ємного руйнування поверхні гумового зразка, а також до зміни умов фрикційного переносу полімерної плівки на металічну поверхню, в результаті інтенсивність зношування суттєво збільшувалась, а коефіцієнт тертя падав (рис. 5).

На рис. 4, 5 зображені залежності фрикційних характеристик (температури в зоні контакту та коефіцієнта тертя) матеріалів досліджуваної пари від питомого навантаження та кількості циклів.

На початку фрикційної взаємодії (до 500 циклів зворотно-поступального руху) спостерігалось значне зростання коефіцієнта тертя і тепловиділення до температури 430-450 К, що супроводжувалось зростанням інтенсивності

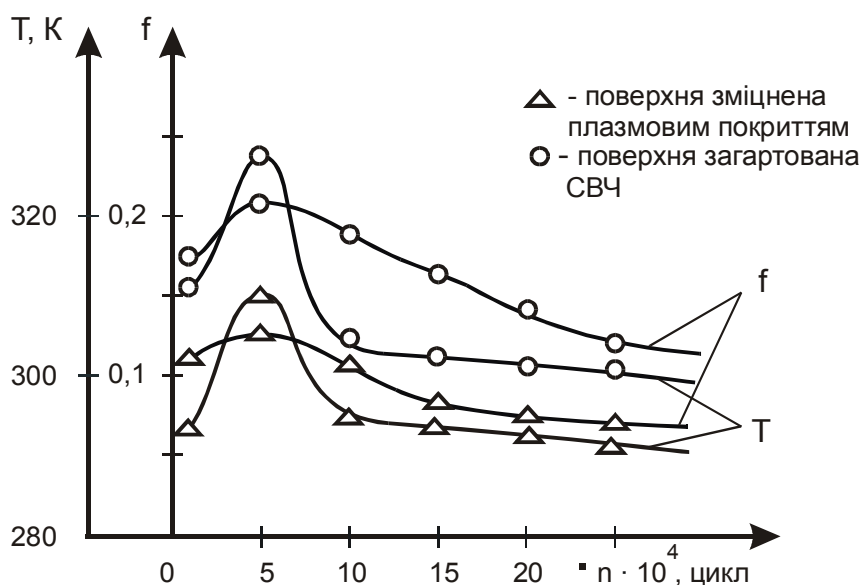


Рисунок 5 – Температура та коефіцієнт тертя при дослідженнях на буровому розчині пар гума-сталь 40X напилена композиційним порошком ПГ-10Н-01 та гума-сталь 40X загартована СВЧ залежно від кількості циклів зворотно-поступального руху,  $P=15$  МПа

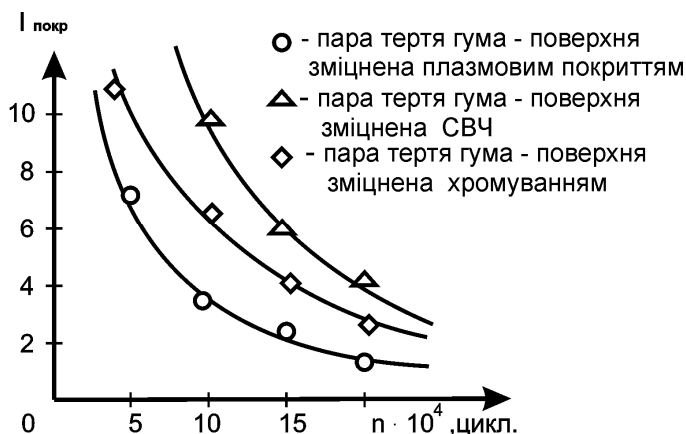


Рисунок 6 – Залежності інтенсивності зносу металевих зразків із сталі 40X, зміцнених СВЧ, хромуванням та плазмовим порошковим покриттям ПГ-10Н-01 від числа циклів випробувань на буровому розчині,  $P=15$  МПа

зношування матеріалів спряження. Із збільшенням кількості циклів зворотно-поступального руху наступало поступове зниження цих характеристик. Подальше збільшення циклів навантажень приводило до реалізації періоду, що характеризується стабілізацією фрикційних характеристик і зниженням зношування.

Аналіз фрикційних властивостей показує активний вплив бурового розчину на характеристики тертя і зношування пари гума - метал (рис. 5). Зниження коефіцієнта тертя після припрацювання проходить у зв'язку із утворенням стабільної площі фактичного контакту, але чим менший коефіцієнт тертя, тим менш міцний поверхневий шар, тобто більша інтенсивність зношування і відповідно величина зношування.

Висока пластичність і достатня міцність плазмово-дугового покриття, його здатність зміцнюватись при терті [8], присутність стійких до зношування карбідів забезпечують високу зносостійкість покриття, в порівнянні із сталлю

40X зміцненою СВЧ та сталлю 40X зміцненою хромуванням (рис. 6).

Виконані дослідні роботи на стенді для дослідження зношування вузлів типу штоку-ущільнення штока бурових насосів при зворотно-поступальному русі показали, що зразки з плазмовими покриттями композиційними порошковими матеріалами ПГ-10Н-01 мали інтенсивність зношування в 1,6-1,8 рази меншу порівняно із зразками зі сталі 40X зміцненими хромуванням і в 1,6-2,2 рази меншу порівняно з зразками із сталі 40X зміцненими СВЧ.

Враховуючи отримані результати стендових досліджень вузла штоку-ущільнення штока, а також незначний термін служби серійних штоків зміцнених СВЧ, були проведені промислові випробування штоків зміцнених за розробленою технологією плазмово-дугового напилення порошковими матеріалами.

Випробування проводились в умовах Івано-Франківської експедиції Прикарпатського

УБР ВАТ "Укрнафта" на свердловині №522-Долина при бурінні в інтервалі 1703-2137 м.

В результаті випробувань встановлено, що наробіток штоків серійного виробництва становив 225-240 годин, а наробіток штоків зміцнених за розробленою технологією 360-403 години. Таким чином, зносостійкість робочих поверхонь штоків зміцнених плазмовим порошковим покриттям в 1,6-1,68 рази більша, ніж поверхні штоків зміцнених СВЧ. Також встановлено, що знос сальникових ущільнень штоків в 1,25-1,28 рази більший при випробуваннях стандартних штоків порівняно із штоками робоча поверхня яких зміцнювалась за технологією плазмово-дугового композиційного напилення порошковими матеріалами.

Вища зносостійкість зразків зміцнених плазмовим покриттям пояснюється одержаною оптимальною зносостійкою композиційною структурою поверхні штока вузла штоку ущільнення штока бурових насосів.

За результатами промислових випробувань ВАТ "Укрнафта" запропонована технологія зміцнення робочої поверхні штоків рекомендована до впровадження у виробництво.

## Література

- 1 Антошин Е.И. Газотермическое напыление покрытий. – М.: Машиностроение, 1974. – 96 с.
- 2 Гладкий С.И., Климишин Я.Д., Парайко Ю.И. Механизм износа пары трения штокоманжета 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-Укр96 // Анот. в Р.Ж. Горное дело. – 1997. – Реф. 1Г193Деп.
- 3 Мислюк М.А., Рибчич І.Й., Яремійчук Р.С. Буріння свердловин: Довідник в 5 т. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2002. –Т.2: Промивання свердловин. Відробка доліт. – 298 с.
- 4 Иогансен К.В. Спутник буровика: Справочник. – 3-е изд. – М.: Недра, 1990. – 303 с.
- 5 Крагельський І.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчётов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
- 6 Гладкий С.І. Дослідження структур та властивостей покриттів одержаних плазмовим методом // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 1997. – № 34. – С. 153-159.
- 7 Мур Д. Трение и смазка эластомеров. – М.: Химия, 1977. – 264 с.
- 8 Куприянов И.Л., Шипко А.А. Исследование износостойкости рутитовых и никель-титановых газотермических покрытий на титане // Трение и износ. – 1986. – Т. 7. – № 4. – С. 722-725.

УДК 621.64.029:622.691.4

## ЗАВИСИМОСТЬ ОБЪЕМА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ОТ КОЛИЧЕСТВА СТЕНДОВ ДЛЯ РЕМОНТА ГПА

<sup>1</sup>Б.В.Копей, <sup>1</sup>А.Беллаур, <sup>2</sup>А.Бенмуна

<sup>1</sup>ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166  
e-mail: yozh@nuing.edu.ua

<sup>2</sup> Університет М'амед Буггара, Факультет нафти, газа і хімії,  
Лабораторія надійності нафтяного обладнання і матеріалів,  
Бумердес, Алжир, 35000

*Проаналізовано залежність об'єму запасних частин від кількості стендів для ремонту ГПА, що знаходяться в ремонтній майстерні. Виведено формули для обчислення ймовірності зайнятості і безаварійності роботи стендів, а також існування черги на очікування ремонту. Зроблено висновок, що підвищення надійності ГПА можна досягти шляхом врахування витрат запчастин і їх оптимізації.*

*Dependence of volume of spare parts on the number of stands for the GPA repair, being in a repair shop, is analysed. Formulas for the calculation of probability of employment and accident-free of work of stands, and also existence of turn on expectation of repair are shown out. A conclusion is done, that increase of the GPA reliability it is possible to attain by the account of expenses of repair parts and their optimization.*

### Введение

Управлять складом запасних частей — это значит гарантировать возможность поддержания газоперекачивающего агрегата (ГПА) в рабочем техническом состоянии функционирования

в течение срока, определенного до предупредительного ремонта с заданной надежностью [1]. Это также означает, что в службе ремонта ГПА необходимо иметь в наличии определенное количество запасных частей для выполнения этого ремонта с целью сокращения к ми-