

ПОЛІПШЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА В РЕЖИМІ ХОЛОСТОГО ХОДУ

Розглянуто результати експериментальних досліджень впливу добавки водневмісного газу на паливну економічність бензинового двигуна за роботи в різних швидкісних режимах активного холостого ходу. Як об'єкт досліджень використано бензиновий двигун з карбюраторною системою живлення МеМЗ-245. У результаті досліджень встановлено, що добавка водневмісного газу приводить до зменшення годинної витрати бензину під час роботи двигуна в різних швидкісних режимах активного холостого ходу. Доведено, що за рахунок меншого відкриття дросельної заслінки і часткового заміщення водневмісним газом знижується витрата повітря в усьому діапазоні частот обертання, що призведе до зменшення масових викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами.

Ключові слова: активний холостий хід, бензиновий двигун, водневмісний газ, інтенсифікація, паливна економічність.

УЛУЧШЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ ХОЛОСТОГО ХОДА

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований влияния добавки водородсодержащего газа на топливную экономичность бензинового двигателя при работе в различных скоростных режимах активного холостого хода. В качестве объекта исследований использован бензиновый двигатель с карбюраторной системой питания МеМЗ-245. В результате исследований установлено, что добавка водородсодержащего газа приводит к уменьшению часового расхода бензина при работе двигателя в различных скоростных режимах активного холостого хода. Доказано, что за счет меньшего открытия дроссельной заслонки и частичного замещения водородсодержащим газом снижается расход воздуха во всем диапазоне частот вращения, что приведет к уменьшению массовых выбросов вредных веществ с отработавшими газами.

Ключевые слова: активный холостой ход, бензиновый двигатель, водородсодержащий газ, интенсификация, топливная экономичность.

IMPROVING FUEL EFFICIENCY GASOLINE ENGINE IN IDLING

In the engine with spark ignition at low loads and modes idling significantly worsen their fuel efficiency and environmental performance. The increase in specific fuel consumption by the engine is idling, small loads and transients mainly determined by mixing deterioration, increasing the relative heat losses in the coolant and oil temperature is reduced in these modes. Also, when the engine load modes small fortune increased relative cost net power to overcome mechanical resistance, and the work is idling all the power of the engine is consumed to overcome friction, gas exchange and to drive auxiliary machinery. All these factors lead to the fact that the specific fuel consumption of the engine at low loads and modes of idling 1,5 – 5 times higher than the rated power at work that affect the value of environmental performance.

One of the measures to improve workflow and reduce fuel consumption engines with spark ignition modes of small loadings and idling is the use of additives that intensify the combustion process. Most their physical and chemical properties suitable for these purposes hydrogen as its rate of combustion significantly exceeds the rate of combustion of gasoline. But the use of pure hydrogen is complicated by the fact that its storage on board the vehicle represents a significant hazard. In this regard, are useful as additives substances containing hydrogen in its composition and that you can get on board the vehicle. These substances belong hydrogen containing gas H_2/O_2 , which is produced by electrolysis of aqueous solutions of alkali. This gas consists of molecules and atoms of hydrogen and oxygen.

The article describes the results of experimental studies of the impact additives hydrogen containing gas to fuel efficiency gasoline engine in various modes active speed idling.

In laboratory testing engines department «Engines and Heating Engineering» National Transport University studied the impact of additives hydrogen containing gas to fuel efficiency gasoline engine with carburetor feed system MeMZ-245 in the active idle. Tests conducted on the engine rotation frequency in the range from 900 to 3,000 rpm. Size additives was constant for all speeds and amounted to 165 l / min.

Additive the hydrogen containing gas has positive effect on fuel efficiency gasoline engine idling. By working with constant addition of 1.5 l / min H_2/O_2 hour reduced consumption of gasoline at different speed idling. The biggest savings for the 11.86% observed with a frequency of 900 rpm and the addition of 8.3% hydrogen containing gas. To achieve a certain speed mode for work with the addition of H_2/O_2 must throttle opening angle to less than without gas. As a result of reduced hour air flow, resulting in a massive reduction of harmful emissions.

Keywords: *active idle, gasoline engine, hydrogen containing gas, intensification, fuel efficiency.*

Вступ. Автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння є одними з основних споживачів різних видів палива нафтового походження та забруднювачів навколишнього середовища. Робота автомобільних двигунів супроводжується постійною зміною навантажувальних і швидкісних режимів. Значне місце в процесі їх експлуатації займають режими малих навантажень та холостого ходу, особливо під час руху автомобілів у великих містах. При роботі двигунів з іскровим запалюванням у режимах малих навантажень і холостого ходу значно погіршуються їх паливна економічність та екологічні показники. Збільшення витрати палива під час роботи двигуна в режимах холостого ходу, малих навантажень і перехідних процесів в основному визначається погіршенням сумішоутворення, збільшенням відносних втрат теплоти в охолодну рідину й оливу, температура яких у цих режимах знижується. Також при роботі двигуна в режимах малих навантажень збільшується відносна частка затрат корисної потужності на подолання механічних опорів, а за роботи в режимі холостого ходу вся потужність, що розвивається двигуном, витрачається на подолання тертя, газообмін і на привід допоміжних механізмів. Усі зазначені фактори призводять до того, що питома витрата палива за роботи двигуна в режимах малих навантажень у 1,5 – 5 разів вища, ніж за роботи на номінальній потужності, що впливає на значення екологічних показників [1].

Одним із заходів, який дозволяє поліпшити робочий процес і знизити витрату палива двигунів з іскровим запалюванням у режимах малих навантажень і холостого ходу, є використання добавок, що інтенсифікують процес згоряння. Такий метод є дуже перспективним в умовах експлуатації, тому що його застосування не потребує зміни конструкції двигуна. Найбільше за своїми фізико-хімічними властивостями для цих цілей підходить водень, оскільки швидкість його згоряння значно перевищує швидкість згоряння бензину. Але використання чистого водню ускладнене тим, що його зберігання на борту автомобіля становить значну небезпеку, а отримувати його на борту в достатній кількості досить складно й енергозатратно. У зв'язку із цим доцільно застосовувати як добавку речовини, що містять у своєму складі водень і які можна одержувати на борту автомобіля. До таких речовин належить водневмісний газ H_2/O_2 , котрий отримують електролізом водних розчинів лугів. Цей газ складається з молекул та атомів водню й кисню.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Результати досліджень з використання водневмісного газу, одержаного електролізом водних розчинів лугів для поліпшення показників роботи двигунів внутрішнього згоряння, опубліковано в ряді зарубіжних видань. Вплив добавки водневмісного газу на показники бензинових двигунів вивчено в роботах [2 – 5]. Установлено, що добавка водневмісного газу призводить до підвищення потужності двигуна, зменшення годинної та питомої витрат палива, зниження концентрацій незгорілих вуглеводнів і оксиду вуглецю у відпрацьованих газах. Найкращий позитивний ефект спостерігали в режимах малих навантажень.

У роботах [6, 7] проведені дослідження впливу добавки водневмісного газу на паливну економічність та екологічні показники бензинового двигуна в режимі холостого ходу за роботи з частотою обертання 900 хв^{-1} . Дослідження проводили при зміні добавки H_2/O_2 від 0 до 1 л/хв. Незмінну частоту обертання в роботі [6] підтримували збідненням паливоповітряної суміші, а в роботі [7] прикриттям дросельної заслінки. У результаті встановлено, що в обох випадках добавка водневмісного газу призводить до зменшення годинної витрати палива і зниження концентрацій продуктів неповного згоряння у відпрацьованих газах двигуна. Дещо зростають концентрації оксидів азоту за рахунок підвищення температури в камері згоряння двигуна.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Залишається невирішеним питання щодо впливу добавки водневмісного газу на паливну економічність бензинового двигуна в різних швидкісних режимах активного холостого ходу.

Постановка завдання. Метою роботи є поліпшення паливної економічності бензинового двигуна в режимі холостого ходу добавкою водневмісного газу до повітряного заряду.

Основний матеріал і результати. У лабораторії випробування двигунів кафедри двигунів і теплотехніки Національного транспортного університету проводять дослідження впливу добавки водневмісного газу на паливну економічність та екологічні показники різних типів двигунів.

Проведено дослідження впливу добавки водневмісного газу на паливну економічність бензинового двигуна з карбюраторною системою живлення MeM3-245 (рис. 1) у режимі активного холостого ходу.



Рисунок 1 – Об'єкт експериментальних досліджень – двигун MeM3-245

Двигун обладнаний необхідною вимірювальною апаратурою та встановлений на гальмівному стенді.

Витрату палива заміряли ваговим методом за допомогою електронних ваг МЕРА ВМ 2/3 і електронного секундоміра. Витрату повітря заміряли за допомогою газового лічильника РГ-40. Частоту обертання колінчастого вала двигуна вимірювали електронним частотоміром Ф-5035. Частотомір отримував сигнал від індукційного датчика, розташованого на корпусі зчеплення поряд із зубцями вінця маховика. У процесі випробувань заміряли кут відкриття дросельної заслінки за допомогою стрілки, встановленої на її осі, та градуйованої шкали.

Розрідження у впускному трубопроводі ΔP_k вимірювали зразковим вакуумметром ОБВ1-160. Температури відпрацьованих газів вимірювали за допомогою термопари ТХА-410, розташованої у впускному трубопроводі, та потенціометра ЕПП-09.

Водневмісний газ отримували за допомогою електролізної установки «Лига-02» з максимальною продуктивністю 5 л/хв. Витрату газу заміряли за допомогою поплавкового ротаметра Р-10/5, призначеного для вимірювання об'ємної витрати газів від 0 до 10 л/хв. Перед подачею в двигун газ H_2/O_2 проходив через водяний затвор і зворотний клапан для запобігання потраплянню полум'я в електролізер у разі виникнення зворотних спалахів.

Водневмісний газ подавали у впускний трубопровід двигуна перед карбюратором. У процесі випробувань були заміряні сила струму і напруга, необхідні для отримання певної кількості газу.

Це дасть можливість урахувати витрати електроенергії (P , МДж/год) при підрахунку економії палива за формулою

$$P = I \cdot U \cdot 3600 \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

де I – сила струму, заміряна при проведенні електролізу, А;

U – напруга, заміряна при проведенні електролізу, В.

Розрахунок економії палива з урахуванням витрат електроенергії на отримання водневмісного газу виконували за формулою

$$E_{\text{кон.чист.}} = \frac{G_{n1} - (G_{n2} + P)}{G_{n1}}, \quad (2)$$

де G_{n1} – годинна витрата бензину в теплових одиницях за роботи без добавки водневмісного газу, МДж/год;

G_{n2} – годинна витрата бензину в теплових одиницях за роботи з добавкою водневмісного газу, МДж/год;

P – витрата електроенергії, необхідної для отримання певної кількості водневмісного газу, МДж/год.

Випробування виконували за роботи двигуна в інтервалі частот обертання від 900 до 3000 xv^{-1} . Величина добавки була сталою для всіх швидкісних режимів і становила 1,5 л/хв. Відсоткове значення величини добавки від витрати бензину розраховували для кожного швидкісного режиму за формулою

$$g_{H_2/O_2} = \frac{G_{H_2/O_2}}{G_n} \cdot 100, \quad (3)$$

де G_{H_2/O_2} – масова витрата водневмісного газу, кг/год;

G_n – годинна витрата бензину, кг/год.

Результати досліджень впливу добавки водневмісного газу на паливну економічність бензинового двигуна показані на рис. 2.

Як видно з рисунка 2, відсоткове значення H_2/O_2 від витрати бензину знижується в міру зростання частоти обертання колінчастого вала. Це пояснюється тим, що при зростанні частоти обертання збільшується годинна витрата палива.

Найбільша добавка H_2/O_2 становить 8,3% при роботі двигуна із частотою 900 xv^{-1} , а найменша – 2,4% при 3000 xv^{-1} .

За роботи з добавкою H_2/O_2 для досягнення певної частоти обертання необхідно відкривати дросельну заслінку на менший кут, ніж за роботи без добавки. За рахунок меншого відкриття дросельної заслінки і часткового заміщення водневмісним газом знижується витрата повітря в усьому діапазоні частот обертання, що призведе до зменшення масових викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами.

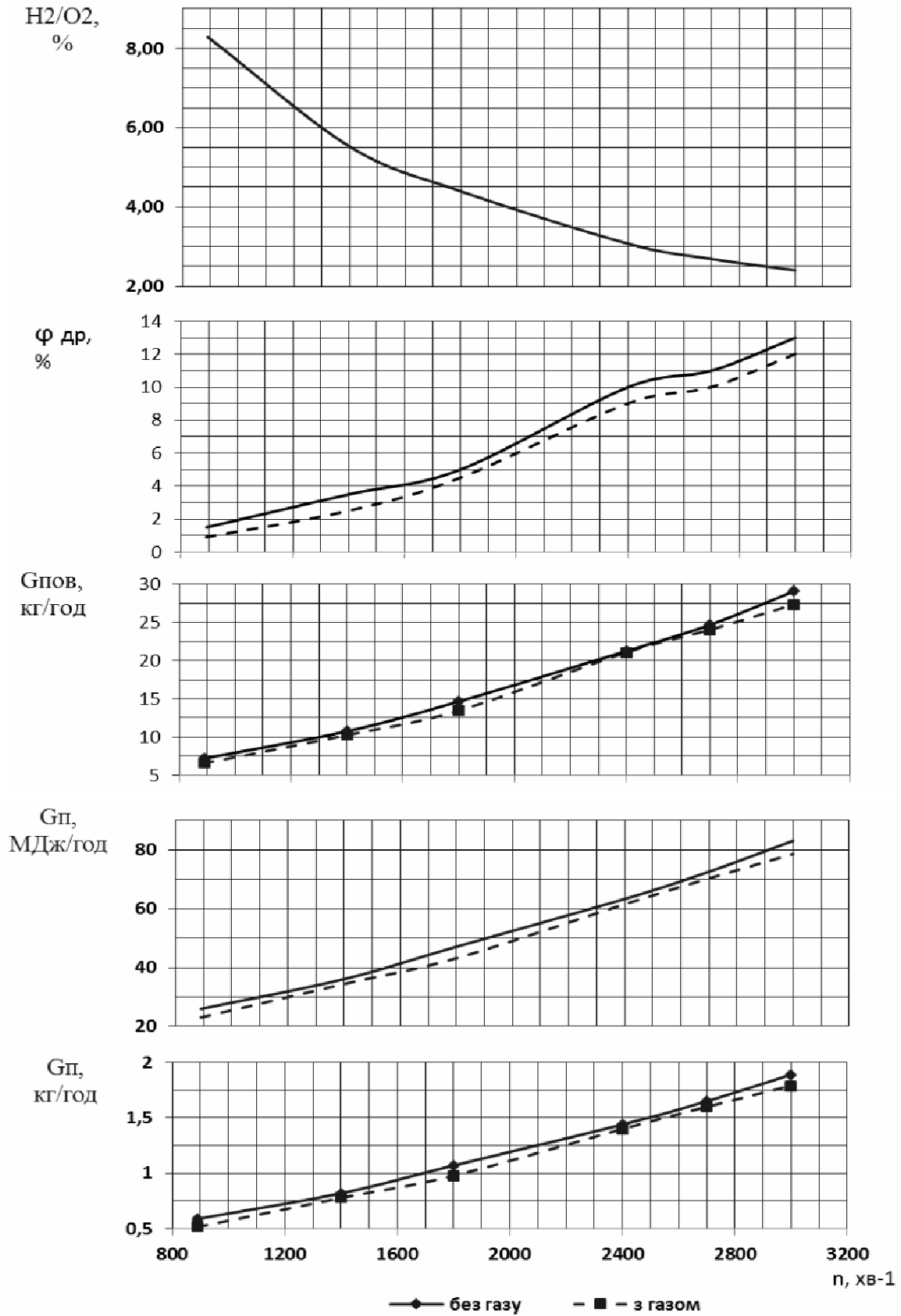


Рисунок 2 – Швидкісна характеристика активного холостого ходу двигуна MeM3-245 за роботи без добавки та з добавкою H_2/O_2

Добавка водневмісного газу приводить до зниження годинної витрати бензину в усіх швидкісних режимах холостого ходу. Найбільша економія становить 11,86% за роботи із частотою 900 хв⁻¹ і добавкою 8,3% газу. Оскільки на отримання водневмісного газу була затрачена електрична енергія, то для об'єктивного оцінювання впливу газу Н₂/О₂ на паливну економічність двигуна необхідно взяти до уваги ці затрати. З урахуванням затрат найбільша економія складає 4% за роботи із частотою 1800 хв⁻¹ і добавкою 4,4% водневмісного газу, що підтверджує отримані раніше результати щодо вибору оптимальної величини добавки.

Висновки. Добавка водневмісного газу позитивно впливає на паливну економічність бензинового двигуна в режимах холостого ходу. За роботи зі сталою добавкою 1,5 л/хв Н₂/О₂ знижується годинна витрата бензину при різних швидкісних режимах холостого ходу. Найбільша економія 11,86% спостерігається за роботи із частотою 900 хв⁻¹ і добавкою 8,3% водневмісного газу. Для досягнення певного швидкісного режиму під час роботи з добавкою Н₂/О₂ необхідне відкриття дросельної заслінки на менший кут, ніж за роботи без газу. У результаті знижується годинна витрата повітря, що призведе до зменшення масових викидів шкідливих речовин.

Література

1. Грабовский А. А. Способ повышения экономических и экологических показателей поршневых двигателей / А. А. Грабовский, И. И. Артемов // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2012. – №1. – С. 88 – 93.
2. Madyira D. *Effect of HHO on Four Stroke Petrol Engine Performance* / D. Madyira, W. Harding // 1,2Department of Mechanical Engineering Science, Faculty of Engineering & the Built Environment, University of Johannesburg, Auckland Park 2006, Johannesburg.
3. *Effects of Brown Gas Performance and Emission in a SI Engine* / D. Lakshmi, T. Mishra & R. Das, S. Mohapatra // *International Journal of Scientific & Engineering Research*. – 2013. – Volume 4, Issue 12. – P. 170 – 173.
4. Leelakrishnan E. *Performance and emission characteristics of brown's gas enriched air in spark ignition engine* / E. Leelakrishnan, N. Lokesh, H. Suriyan // *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. – 2013. – Vol. 2, Issue 2. – P. 393 – 404.
5. Musmar S. *Effect of HHO gas on combustion emissions in gasoline engines* / S. Musmar, A. Al-Rousan // *Fuel*. – 2011. – Vol. 90. – P. 3066 – 3070.
6. Вплив додавання суміші водню з киснем на паливну економічність і токсичність бензинового двигуна в режимі холостого ходу / Ю. Ф. Гутаревич, А. О. Корнач, Є. В. Шуба, О. Д. Філоненко, І. В. Самойленко // *Вісник Національного транспортного університету*. – К. : НТУ, 2014. – Вип. 30. – С. 78 – 85.
7. Гутаревич Ю. Ф. Використання добавки водневмісного газу до повітряного заряду для покращення показників двигунів з карбюраторною системою живлення в режимах холостого ходу. / Ю. Ф. Гутаревич, Є. В. Шуба // *Вісник Національного транспортного університету*. – К. : НТУ, 2015. – Вип. 31. – С. 161 – 165.

© Шуба Є.В.

Надійшла до редакції 9.12.2015

*Артим В.І., д.т.н., професор
Яценко Т.В., аспірант
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Пенц В.Ф., к.т.н., доцент
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

ПІДХІД ДО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛЕВИХ ЦИЛІНДРОВИХ ВТУЛОК БУРОВОГО НАСОСА ТА ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

На основі експлуатаційних випробувань циліндрових втулок бурових насосів було встановлено, що втулки циліндрові бурових насосів, виготовлені за типовими технічними умовами, виходять з ладу не тільки внаслідок гідроабразивного зношування, але й при впливі корозійного розтріскування робочих поверхонь, яке інтенсифікується кавітацією в зоні переходу «втулка – поршень». Порівнянням даних випробувань доведено, що використання біметалевих втулок збільшить міжремонтний період і відповідно знизить ремонтні витрати. Аналізом типового технологічного процесу виготовлення втулок засвідчено необхідність застосування біметалевих циліндрових втулок бурових насосів.

Ключові слова: *буровий насос, циліндропоршнева пара, поршень, біметалева втулка.*

*Артым В.И., д.т.н., профессор
Яценко Т.В., аспирант
Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа
Пенц В.Ф., к.т.н., доцент
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

ПОДХОД К ПРОЦЕССУ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЦИЛИНДРОВЫХ ВТУЛОК БУРОВОГО НАСОСА И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

На основе эксплуатационных испытаний цилиндрических втулок буровых насосов было установлено, что втулки цилиндрических буровых насосов, изготовленные по типовым техническим условиям, выходят из строя не только вследствие гидроабразивного износа, но и при воздействии коррозионного растрескивания рабочих поверхностей, которое интенсифицируется кавитацией в области перехода «втулка – поршень». Сравнение данных испытаний показали, что использование биметаллических втулок увеличит межремонтный период и соответственно снизит ремонтные расходы. Анализ типового технологического процесса изготовления втулок показал необходимость применения биметаллических цилиндрических втулок буровых насосов.

Ключевые слова: *буровой насос, циліндропоршнева пара, поршень, биметаллическая втулка.*

Artym V., ScD, Professor
Yatsenko T., post-graduate
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
Pents V., PhD, Associate Professor
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

APPROACH TO THE PROCESS OF MANUFACTURING OF THE MUD-PUMP BIMETAL LINERS AND THEIR OPERATIONAL CHARACTERISTICS

On the ground of the operation test of the mud-pump bimetal liners, it was estimated that the mud-pump bimetal liners, manufactured under the typical technical conditions, break down not only because of the hydroabrasive wear, but also because of the influence of the working surface corrosion cracking which is intensified by the cavitation in the «bushing – piston» junction area. Due to the comparison of the data of the examination it was demonstrated that the usage of the bimetal liners will increase the overhaul life and decrease the repair costs. The analysis of the typical technical conditions of the liners' manufacturing has proved that there is a necessity to use the mud-pump bimetal liners.

The article reveals the damage mechanism of the Piston and Cylinder Unit of the mud-pumps applied in the global practice while drilling to extract oil and gas.

It was found out that the damage of the Piston and Cylinder Unit by the abrasive jet happens either when the abnormal fluid leakage from the decreasing space of the cylinder into the increasing space, which is formed after the wear of the unit by the abrasive layer, takes place or as a result of the alternative displacement of the layer from one piston cup to another by the lubricating fluid. A specific feature of the second damage subtype is the fact that it generally takes place at the high pressure pumps.

The role of the technological heredity in the formation of the performance characteristics and the reliability coefficients was established.

The failure causes of the mud-pump liners as well as the techniques for producing of the existing mud-pumps were analyzed.

The main types and groups of the mud-pump bimetal liner wear were systematized and summarized in the table. The cyclic influence of the hydrodynamic loads and the existence of the corrosion environment lead to considerable decrease of the long-term strength of the corrosion cracking of the liner working surface.

It was defined that besides the stress-strain properties of the working surfaces, topography of the surface has the great influence on the liner's resistance to wear as it determines the possibility of the penetration of abrasive and the drilling mud inhibitors into the area of contact and as a result, the abrasion process is intensified by the propping action of the drilling mud.

The above mentioned facts give the evidence of the inadequacy of the usage of the typical technical conditions of the mud-pump bimetal liners' manufacturing.

The contrastive table for the comparison of the steel and bimetal liners was designed. It demonstrates that the main economic effect caused by the usage of the high-resource bimetal liners is obtained due to the increase of the overhaul life and decrease of the repair costs correspondingly.

The results of the experimental research were illustrated, the findings were analyzed and the ways of the follow-up study were indicated.

Keywords: *mud-pump, Piston and Cylinder Unit, piston, bimetal liner.*

Вступ. Більшість відмов виробу пов'язані з недосконалістю технології його виготовлення, оскільки саме вона визначає рівень якості та всі властивості, отримані в процесі виготовлення деталей і складання вузлів. Технологічний процес виготовлення, складання та контролю виробу повинен з найменшими витратами часу і засобів забезпечити необхідний рівень якості продукції, зокрема і надійність. При виконанні бурових робіт широко використовують двопоршневі насоси двосторонньої дії та три-, чотирипоршневі односторонньої дії. Однією з основних проблем в експлуатації бурових насосів є низькі показники напрацювання змінних деталей – втулок циліндрових, поршнів, клапанів, штоків. Тому є проблема підвищення їх довговічності.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. У розв'язання цієї проблеми суттєвий внесок зробили такі вчені, як Я.С. Мкртичан, А.С. Ніколіч, В.М. Литвинов, А.З. Романов, Г.Г. Ахадов та інші.

Було встановлено [1 – 6], що в процесі роботи бурового насоса гідравлічна частина зазнає значного навантаження, зі збільшенням подачі розчину воно зростає, й однією зі слабких ланок у цій частині є циліндропоршнева пара. Вихід її з ладу викликаний втратою стійкості внаслідок зношення робочих поверхонь. Таку проблему може бути розв'язано прямим використанням досягнутих за останні роки результатів удосконалення технології машинобудування.

Однак завдання подолання абразивного зношення і створення зносостійких та довговічних компонентів не може бути розв'язано без ґрунтового аналізу конкретних умов виготовлення циліндрових втулок, оскільки умови виготовлення деталей машин визначають їх експлуатаційні характеристики.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Питання впливу умов виготовлення втулок циліндрових бурових насосів на їх експлуатаційні характеристики вивчено явно недостатньо. Тому для заповнення цієї прогалини було поставлено завдання проаналізувати вплив типових технічних умов виготовлення циліндрових втулок бурових насосів на їх середнє напрацювання та запропоновано використовувати біметалеві циліндрові втулки.

Метою дослідження є проведення аналізу умови роботи циліндрової втулки й установлення найбільш імовірних причин втрати її працездатності.

Основний матеріал і результати. Нині для подачі та приведення в рух промивальної рідини в насосно-циркуляційних системах використовуються бурові насоси, в основному двопоршневі двосторонньої дії й трипоршневі односторонньої дії.

З урахуванням того, що, з одного боку, умови роботи основного робочого органу в трипоршневому буровому насосі односторонньої дії полегшені внаслідок подачі змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) в зону тертя, а з другого – стали важчими через збільшення частоти циклів прикладання навантаження, доцільним є проведення аналізу довговічності переважаючих видів зношування й особливостей руйнування деталей циліндропоршневої пари (ЦПП).

Слід зауважити безперервний розвиток уявлень про руйнування ЦПП у напрямі їх поглиблення і розширення. Механізм руйнування пари є дуже складним (табл. 1). По-перше, це абразивне зношування, а по друге – втомне руйнування манжет поршня від циклічних напружень, яке підсилюється термохімічними процесами.

Руйнування ЦПП абразивним струменем, яке виникає після зношування пари абразивним прошарком, відбувається або при надзвичайних витіканнях рідини з порожнини нагнітання циліндра в порожнину всмоктування, або в результаті почергового витіснення мастильною рідиною прошарка від однієї манжети поршня до другої. Характерною особливістю другого підтипу руйнування абразивним струменем є те, що він має місце здебільшого в насосах високого тиску. Із цією метою ми систематизували основні види та групи зношення циліндрової втулки бурового насоса.