

УДК 621.791.92

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ
ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ
ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ Д 50**

©Дерябкина Е. С.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про автора:

Дерябкина Євгенія Станіславівна: ORCID: 0000-0002-5531-0124; 216464@mail.ru; кандидат технічних наук; доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Показана целесообразность восстановления и упрочнения деталей дизелей интегрированным газопламенным напылением. Представлены результаты сравнительных лабораторных и натурных испытаний износо- и задиростойкости восстановленной плунжерной пары. Исследования проводились на образцах из стали ШХ15 с покрытием ПГ-10Н-01, нанесенным интегрированным газопламенным напылением, образцах, прошедших термообработку по серийной технологии и образцах с покрытием TiN, нанесенным вакуумно-плазменным напылением.

Нанесенные на плунжерные пары покрытия ПГ-10Н-01 обеспечили уменьшение износа деталей и наибольшую их задиростойкость из всех испытываемых вариантов. Полученные результаты также показывают, что покрытие ПГ-10Н-01 обеспечивает повышение термостойкости процесса задиобразования (163-165 °С) по сравнению с другими видами образцов (130-140 °С).

Установлено, что покрытие из самофлюсующегося сплава ПГ-10Н-01, нанесенное интегрированным газопламенным напылением, значительно повышает надежность деталей топливной аппаратуры, и может рекомендоваться для дальнейшего использования при восстановлении и упрочнении изношенных плунжерных пар, а также при их изготовлении, с заменой дорогостоящей стали ШХ15 на более дешевую сталь 45, с напыленным покрытием ПГ-10Н-01.

Ключевые слова: плунжер; износостойкость; задиобразование; сталь; покрытие; интегрированное газопламенное напыление.

Дерябкина Є. С. «Дослідження експлуатаційної стійкості відновлених деталей паливної апаратури тракторних дизелів Д 50».

Показана доцільність відновлення і зміцнення деталей дизелів інтегрованим газополуменевим напиленням. Представлені результати порівняльних лабораторних та натурних випробувань износо- і задіростійкості відновленої плунжерної пари паливної апаратури. Дослідження проводилися на зразках зі сталі ШХ15 з покриттям ПГ-10Н-01, яке нанесене газополуменевим інтегрованим напиленням, зразках, що пройшли термообробку за серійною технологією і зразках з покриттям TiN, яке нанесене вакуумно-плазмовим напиленням.

Нанесені на плунжерні пари покриття на основі ПГ-10Н-01 забезпечили зменшення зносу деталей і найбільшу задіростійкість з усіх випробовуваних варіантів. Отримані результати також показують, що покриття ПГ-10Н-01 забезпечують підвищення термостійкості процесу задирутворення (163-165 °С) у порівнянні з іншими видами зразків (130-140 °С).

Встановлено, що покриття з самофлюсуючого сплаву ПГ-10Н-01, нанесене інтегрованим газополуменевим напиленням, значно підвищує надійність деталей паливної апаратури, і може бути рекомендовано для подальшого використання при відновленні і зміцненні зношених плунжерних пар, а також при їх виготовленні, із заміною кошовної сталі ШХ15 на дешевшу сталь 45, з напиленням покриття зі сплаву ПГ-10Н-01.

Ключові слова: плунжер; зносостійкість; задирутворення; сталь; покриття; інтегроване газополуменеве напилення.

Deryabkina E. “Research operational resistance restoration of details of fuel equipment of D50 tractor diesel”.

The expediency of restoration and hardening of details of diesels integrated flame spraying. The results of comparative laboratory and field tests of wear is the reduced resistance to scoring and plunger assembly of the fuel equipment. The studies were conducted on samples of steel ShKh15 coated PG-10N-01, deposited by flame spraying an integrated. Samples were heat treated by serial technology and TiN coated samples, vacuum-deposited by plasma spraying. Applying to the plunger assemblies based coating PG-10N-01 led to a decrease in wear resistance to scoring and most score resistivity of all the samples. The results also show that the coating PG-10N-01 enhances the thermal stability of score formation (163-165 °C) compared to other types of samples (130-140 °C).

It was found that the coating of the self-fluxing alloy 10N-PG-01 applied via integrated flame spraying, significantly increases the reliability of the parts of fuel equipment, and can be recommended for further use in the restoration and strengthening of worn plunger, as well as in their production, with the replacement of expensive steel ShKh15 a cheaper steel 45 with sprayed coating PG-10N-01 alloy.

Keywords: plug; wear; tear formation; steel; coating; integrated flame spraying.

1. Состояние вопроса

Парк автотранспортных средств на Украине по техническому уровню, моральному и физическому износу находится в критическом состоянии, сроки амортизации почти у 50 % машин значительно превышены (более 10 лет), однако, они продолжают эксплуатироваться. В этих условиях возникает острая необходимость в повышении показателей долговечности деталей при ремонте и техническом обслуживании. Для достижения существенного роста объема восстановления деталей требуется внедрение на ремонтных предприятиях современных высокоэффективных технологий, обеспечивающих повышение износостойкости деталей в 1,5-2,0 р. выше новых[1–2].

2. Анализ проведенных исследований

В настоящее время объём ремонтных работ деталей плунжерной группы тракторных и комбайновых дизелей, главным образом по износу, очень велик и практически соизмерим с масштабами производства новых деталей. Объем производства запасных частей плунжерных пар составляет от 30 до 50 % производства новых двигателей. Поэтому основным направлением восстановления изношенных деталей и сокращения производства запчастей является применение новых технологий нанесения износостойких покрытий [3, 4].

Среди перспективных методов нанесения покрытий выделяют методы газотермического напыления, и в первую очередь – газопламенного, являющегося одним из самых технологичных методов восстановления и упрочнения деталей транспорта [5–7]. К преимуществам которого также следует отнести простоту и дешевизну применяемого оборудования. Однако качество газопламенных покрытий не всегда соответствует повышенным требованиям, предъявляемым к деталям машин при эксплуатации в условиях интенсивных динамических нагрузок. Широкому применению

Технологія машинобудування

газопламенного напыления препятствуют низкая адгезионно-когезионная прочность нанесенных покрытий [5, 6]. Повысить качество покрытий можно путем совмещения технологии напыления со щеточной обработкой. Разработка такой интегрированной технологии открывает возможность получения защитных покрытий с повышенными прочностью сцепления и износостойкостью, низкой пористостью [6]. Задача повышения качества восстановленных деталей средств транспорта интегрированным газопламенным напылением достаточно сложная. К тому же на данный момент научно-техническая информация о влиянии такого способа восстановления на свойства покрытий в процессе эксплуатации деталей дизелей отсутствует, что делает задачу исследования актуальной.

3. Целью исследований является обоснование целесообразности восстановления и упрочнения плунжерных пар топливной аппаратуры дизелей интегрированным газопламенным напылением для повышения их надежности.

4. Основной материал

Комплексная оценка целесообразности проведения конструктивно-технологических мероприятий, направленных на повышение надежности работы плунжерных пар топливной аппаратуры двигателей типа Д50, обычно производится на основе натурных испытаний. Однако в настоящее время это затруднительно, а в ряде случаев не возможно, из-за больших затрат материальных средств и времени до окончательной доводки деталей. Кроме того, при натурных испытаниях в связи с одновременным изменением целого ряда взаимосвязанных факторов, трудно однозначно определить влияние проведенных исследований на повышение износостойкости и надежности деталей. Поэтому для оценки износостойкости деталей плунжерных пар, восстановленных газопламенным напылением, применялись как лабораторные, так и натурные испытания.

Лабораторные испытания напыленных образцов проводились на промышленных машинах трения, а восстановленных деталей – на специальных стендах, позволивших производить испытания и их оценку в условиях максимально приближенным к реальным. Испытания образцов по определению износостойкости и задиростойкости проводились на машине трения УМТ-1.

Для проведения износных испытаний плунжерных пар на стенде трения втулки разрезали вдоль осевой линии на две полувтулки электрофизическим методом без нагрева. Испытания производилась при подобранной нагрузке прижатия образцов – 600 Н в течении 150000 циклов (оборотов), частота вращения образца составляла 320 об/мин, что обеспечивало соответствие скоростей перемещения образцов и плунжера во втулке при их работе на дизеле.

Испытания на задиростойкость производились при нагрузке 800 Н, частоте вращения образца 320 об/мин, при однократном нанесении дизтоплива на поверхности трения с определением количества циклов (оборотов) до начала схватывания образцов. Этот момент соответствует срабатыванию регулятора выключения и остановки стенда, который предварительно был отрегулирован на величину 31 Н·м. В период испытаний производилась регистрация момента трения и температуры образца.

При испытаниях на стенде трения задиробразование покрытия плунжерных пар определялось по состоянию поверхности трения плунжера и полувтулок после проведения полного цикла испытаний. Момент перехода задирообразования к схватыванию в сопряжении плунжерных пар фиксировался по изменению звука в результате остановки

плунжера при работе станда трения, после чего испытания прекращались. При этом производилось взвешивание деталей до и после проведения испытаний. Предварительно детали очищались от механических частиц, промывались, обезжиривались бензином и растворителем, после чего просушивались на воздухе. Длительность испытаний, подобранная опытным путем, составляла 8 мин. Принятые условия проведения испытаний более жесткие, по сравнению с натурными, поскольку при работе на испытательном станде рабочие поверхности плунжерной пары постоянно подвержены контакту и трению. При работе же в топливном насосе контакт поверхностей является периодическим, при попадании твердых частиц с топливом между плунжером и втулкой.

После проведения испытаний проводилась оценка состояния поверхностей трения плунжера и полувтулок внешним осмотром. Замена топлива и тщательная промывка картеров станда осуществлялась после полного цикла испытаний каждой плунжерной пары. При этом все испытания для соблюдения идентичности состава топлива проводились на одном топливе.

Испытания проводились на образцах из стали ШХ15 с нанесенным газопламенным интегрированным напылением покрытием ПГ-10Н-01. Для сравнения испытывались образцы из стали ШХ15, прошедшие термообработку до твердости 56-58 HRC по серийной технологии. Также, для сравнения, производились испытания образцов из стали ШХ15 с покрытием TiN, нанесенных вакуумно-плазменным напылением. Результаты испытаний по задиростойкости приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний на задиростойкость

Варианты образцов	Количество циклов до схватывания	Температура образцов, °С
ШХ15, термообработанные	4160	130
ШХ15 с покрытием TiN	4350	140
ШХ15 с покрытием ПГ -10Н - 01	5600	165

Установлено, что в процессе испытаний всех вариантов происходит рост температуры и моментов трения $M_{тр}$ до начала схватывания (задиорообразования) поверхностей. Такой характер процесса связан с условиями контактного взаимодействия и удержания смазки (дизтоплива), однократно нанесенной на поверхности трения образцов. Наименьшую задиростойкость (4160 цикл) имеют образцы из стали ШХ15 с термообработкой HRC 56-58. У образцов, с покрытием на основе TiN, задиростойкость увеличилась незначительно в 1,045р. Наибольшей задиростойкостью из всех испытываемых вариантов обладает покрытие на основе ПГ-10Н-01 – в 1,35 раза больше чем термообработанная сталь ШХ15. Полученные результаты также показывают, что покрытие ПГ-10Н-01 обеспечивает повышение термостойкости процесса задиорообразования (163-165 °С) по сравнению с другими видами образцов (130-140 °С). На рис. 1 приведена диаграмма задиростойкости материалов. Из графиков, приведенных на рис. 2, на основе испытаний по подбору оптимальной величины нагрузки видно, что за 150000 циклов испытаний износ наименее задиростойкого из испытанных материалов термообработанного стального образца увеличивается при нагрузках Р в диапазоне 400...700 Н.

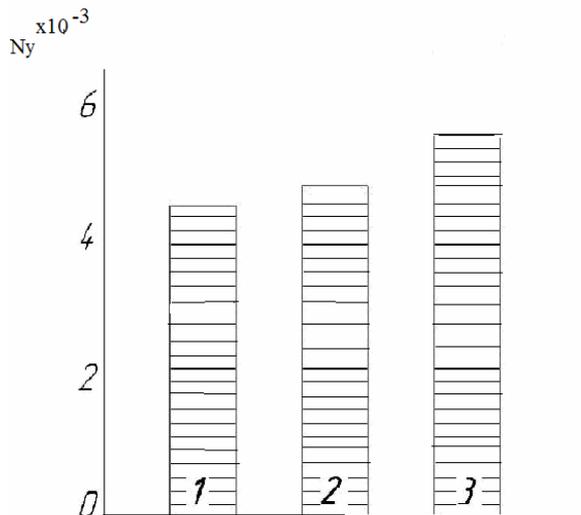
Технологія машинобудування

Рис. 1 – Диаграмма задиростойкости: 1-ШХ15, термообработка; 2-покрытие TiN; 3-покрытие ПГ-10Н-01

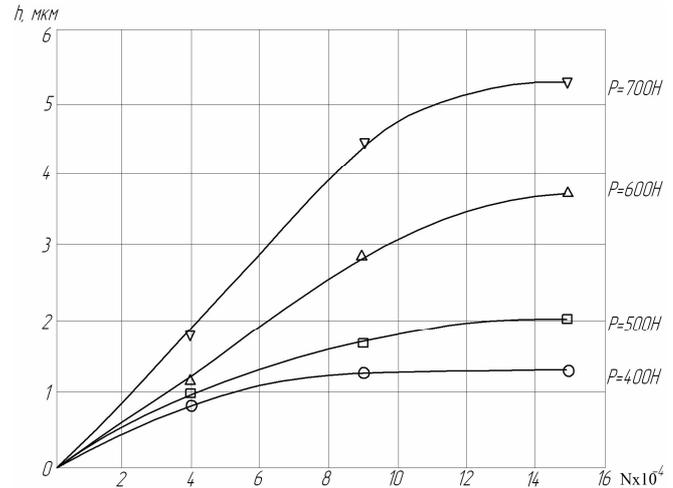


Рис. 2 – Износ h термообработанных стальных образцов в течении циклов N испытаний при изменении нагрузки прижатия P

Однако, как видно из рис. 3, характер изменения момента трения $M_{тр}$ в начальный период этих испытаний не одинаковый и существенно зависит от нагрузки. Так, при нагрузке $P = 600$ Н (рис. 3 а) кривая $M_{тр}$ плавно изменяется без резких отклонений, связанных с местным схватыванием образцов.

После установления заданной нагрузки $M_{тр}$ уменьшается, а после приработки устанавливается постоянным. При увеличении нагрузки до 700 Н (рис. 3 б) заметны резкие колебания $M_{тр}$, характеризующие его нестабильность. При нагрузке 800Н (рис.3 с) $M_{тр}$ не стабилизируется, как в случае нормального износа (рис. 3 а), и продолжает увеличиваться от начала приложения нагрузки прижатия, имеет прерывистый характер в результате местных схватываний поверхностей, что зачастую приводит к задиробразованию. Как видно из полученных результатов, верхним пределом нагрузки при испытаниях следует считать нагрузку $N=600$ Н.

При испытаниях с указанной нагрузкой таких износостойких покрытий, как TiN, износ одной из испытываемой пары образцов составляет 4...6 (табл. 2) при погрешности изменений 0,1 мкм, поэтому уменьшение нагрузки ниже $P=600$ Н не целесообразно, ввиду приближения измеряемой величины к величине погрешности измерений. Таким образом, на основе проведенных исследований по подбору величины нагрузки последняя в процессе последующих испытаний для всех образцов была принята равной 600 Н. Результаты сравнительных испытаний на износ плунжерных пар на стенде трения представлены в табл. 2. и рис. 4.

Таблица 2 – Результаты испытаний на стенде трения

Варианты образцов	Износ образцов, мкм		
	вал (плунжер)	втулка	вал (плунжер) + втулка
Сталь ШХ15 термообработанная	3...4	3...4	6...8
Сталь ШХ15 с покрытием TiN	2...3	2...3	4...6
Сталь ШХ15 с покрытием ПГ-10Н-01	0,8...1	1,2...2	2...3

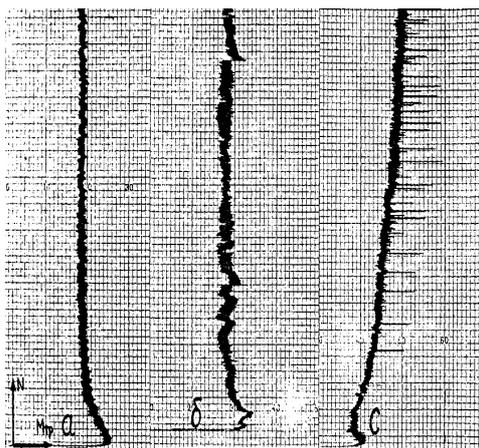


Рис. 3 – Характер изменения момента трения $M_{тр}$ в начальный период N циклов испытаний образцов в зависимости от нагрузки прижатия P :
а – 600 Н, б – 700 Н, с – 800 Н

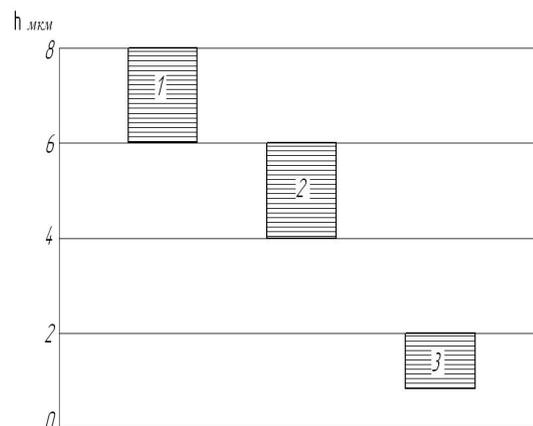


Рис. 4 – Диаграмма износостойкости образцов: 1- поверхность с термообработкой; 2-покрытие TiN; 3-покрытие ПГ-10Н-01

Так как на стенде трения полуштулки постоянно прижаты к перемещающемуся плунжеру, т.е. работа происходит в условиях полусухого трения, то это приводит к повышенному износу контртела (штулки). Из полученных результатов также видно, что нанесенные на плунжерные пары покрытия на основе ПГ-10Н-01, привели к уменьшению износа по сравнению с термообработанной сталью ШХ15: для термообработанного вала (плунжера) в (4,6:1,8...4,1:1,4) мкм = 2,55...2,89 р.

Результаты сравнительных износных испытаний плунжерных пар на машине трения приведены в табл. 3, из которых видно, что износ термообработанных поверхностей стали ШХ15 с покрытием TiN несколько ниже по сравнению со сталью ШХ15, прошедшей термообработку HRC 56-58. В тоже время износ плунжерной пары на машине трения (6,3-7,2) несколько выше, чем при испытаниях на стенде трения (4,0-6,0). Состояние поверхностей трения плунжерных пар после проведенных испытаний (рис. 5) свидетельствуют о сравнительно равномерном распределении зон износа по всей поверхности, что объясняется достаточно полным прилеганием плунжера и полуштулок перед началом и в процессе проведения испытаний.

Таблица 3 – Результаты испытаний на машине трения

Варианты обработки	Износ, мкм		
	Вал (плунжер)	Втулка	Вал (плунжер) + втулка
ШХ15, термообработка	4,1...4,6	2,8...3,2	6,9...7,8
ШХ15с покрытием TiN	3,8...4,2	2,5...3,0	6,3...7,2
ШХ15,с покрытием плунжера ПГ-10Н-01, и втулка ШХ15, т/о	1,4...1,8	2,0...2,7	3,4...4,5

Полученные результаты (рис. 6) показывают, что для всех испытанных образцов в начальный период испытаний происходит приработка поверхностей, сопровождающаяся некоторым уменьшением, а затем стабилизацией момента трения и температуры образца. Износ образцов с термообработанной поверхностью составляет 6...8 мкм. Покрытие TiN обеспечило снижение износа до 4...6 мкм в 1,3...1,5 раза. Износ образцов с покрытием ПГ-10Н-01 составляет 3,4...4,5 мкм, что значительно ниже \approx в 1,6..1,8 раза – по сравнению с покрытием TiN.

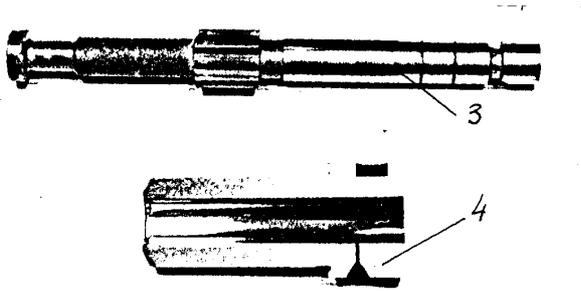


Рис. 5 – Внешний вид плунжерных пар после проведения испытаний на стенде трения: 3 – плунжер с покрытием, 4 – полувтулка

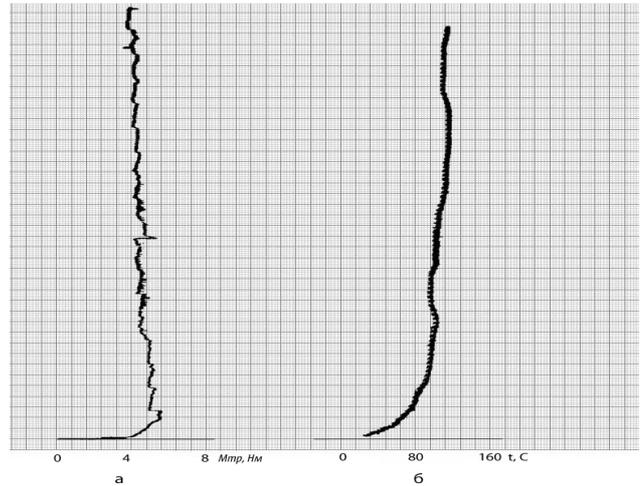


Рис. 6 – Изменение момента трения Мтр (а) и температуры образца (б) в начальный период испытаний на износ (скорость перемещения диаграммной бумаги 300 цикл/мин)

Выводы

Обоснована целесообразность восстановления и упрочнения плунжерных пар дизелей путем нанесения износостойких покрытий интегрированным газопламенным напылением.

Экспериментально установлено, что образцы деталей топливной аппаратуры с покрытием ПГ-10Н-01 обладают повышенными износо-, задиرو- и термостойкостью. На основании этого вышеуказанные покрытия могут рекомендоваться для дальнейшего использования при восстановлении изношенных плунжерных пар дизелей типа Д50, а также при их изготовлении с заменой дорогостоящей стали ШХ15 на более дешевую сталь 45, с нанесенным покрытием из сплава ПГ-10Н-01.

Список использованных источников:

1. Малахов В. С. Ремонт тракторов Т-150 и Т-150К / В. С. Малахов, А. С. Мудрук, П. М. Кривенко. – М.: Колос, 1982. – 222 с.
2. Кухтов В. Г. Долговечность деталей шасси колесных тракторов / В. Г. Кухтов. – Харьков : ХНАДУ, 2004. – 292 с.
3. Богуслаев А. В. Характеристики и применение напыления газотермических покрытий на деталях авиадвигателей и технологического оснащения / А. В. Богуслаев // *Сучасне машинобудування*. – 2000. – № 3-4. – С. 28–34.
4. Харламов Ю. А. Газотермическое напыление покрытий и экологичность производства, эксплуатации и ремонта машин / Ю. А. Харламов // *Тяжелое машиностроение*. – 2000. – № 2. – С. 3–10.
5. Витязь П. А. Упрочнение газотермических покрытий / П. А. Витязь, Р. О. Азизов, М. А. Белоцерковский. – Минск: Бестпринт, 2004. – 192 с.
6. Полянский А. С. Определение оптимальной скорости обработки поверхности и параметров иглофрезы, обеспечивающих максимальную прочность сцепления газопламенных покрытий / А. С. Полянский, С. А. Лузан, Е. С. Дерябкина // *Праці Таврійського держ. агротехнологічного ун-ту*. – Мелітополь, 2010. – Вип. 10, т. 5. – С. 111–118.
7. Хасуй А. Наплавка и напыление / А. Хасуй, О. Моригаги. – М. : Машиностроение, 1985. – 285 с.

References

1. Malakhov, V, Mudruk, A & Krivenko, P 1982, *Remont traktorov T-150 i T-150K*, Kolos, Moskva.
2. Kukhtov, V 2004, *Dolgovrechnost detaley shassi kolesnykh traktorov*, KhNADU, Kharkiv.
3. Boguslayev, A 2000, 'Kharakteristiki i primeneniye napyleniya gazotermicheskikh pokrytiy na detalyakh aviadvigateley i tekhnologicheskogo osnashcheniya', *Suchasne mashynobuduvannia*, no. 3-4, pp. 28-34.
4. Kharlamov, Yu 2000, 'Gazotermicheskoye napyleniye pokrytiy i ekologichnost proizvodstva, ekspluatatsii i remonta mashin', *Tyazheloye mashinostroyeniye*, no. 2, pp. 3-10.
5. Vityaz, P, Azizov, R & Belotserkovskiy, M 2004, *Uprochneniye gazotermicheskikh pokrytiy*, Bestprint, Minsk.
6. Polyanskiy, A, Luzan, S & Deryabkina, E 2010, 'Opredeleniye optimalnoy skorosti obrabotki poverkhnosti i parametrov iglofrezы, obespechivayushchikh maksimalnuyu prochnost stsepleniya gazoplammennykh pokrytiy', *Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu*, iss. 10, vol. 5, p. 111-118.
7. Khasuy, A & Morigagi, O 1985, *Naplavka i napyleniye*, Mashinostroyeniye, Moskva.

Стаття надійшла до редакції 16 листопада 2015 р.