

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ВАЛОВ ДИФФЕРЕНЦИАЛОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ

Пучков П.В., Зарубин В.П., Киселев В.В., Топоров А.В., Колобов М.Ю.

Пучков Павел Владимирович, Зарубин Василий Павлович, Киселев Вячеслав Валериевич, Топоров Алексей Валериевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

г. Иваново, Россия. 153040, Ивановская область, г. Иваново, пр. Строителей, 33.

E-mail: palpuch@mail.ru, docent432@yandex.ru, slavakis76@mail.ru, ironaxe@mail.ru

Колобов Михаил Юрьевич

Ивановский государственный химико-технологический университет,

г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7.

E-mail: mikhailkolobov@rambler.ru

Безотказная работа любого механизма зависит от правильной работы его отдельных узлов и агрегатов, своевременном проведении технического обслуживания и, при необходимости, качественно проведенного ремонта. Анализ причин выхода из строя рабочего механизма позволяет выделить в качестве основной причины износ контактирующих поверхностей. В результате износа увеличиваются технические зазоры, появляются недопустимые люфты, нарушается герметичность уплотнений. Дальнейшая эксплуатация таких узлов и агрегатов недопустима. Из этого следует, что снижение износа поверхностей трения повышает долговечность деталей, узлов, агрегатов и обеспечивает их безотказную работу. Материал статьи посвящен вопросу повышения износостойкости поверхностей деталей машин за счет упрочняющих методов механической обработки. В качестве объекта исследований выбран один из самых нагруженных узлов автомобилей – дифференциал. Частой причиной выхода из строя дифференциала является износ шеек валов в местах контакта с манжетными уплотнениями. В статье сделан акцент на применении алмазного выглаживания участков валов дифференциала более подверженных износу. Достоинствами предложенного метода механической обработки является достаточная простота проведения операции по упрочнению, не высокая стоимость и возможность получения поверхности устойчивой к истиранию.

Ключевые слова: поверхностная обработка, интенсивность изнашивания, алмазное выглаживание, манжетное уплотнение, наклеп, пара трения

INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF DIFFERENTIAL SHAFTS THROUGH THE APPLICATION OF DIAMOND BURNING TECHNOLOGY

Puchkov P.V., Zarubin V.P., Kiselev V.V., Toporov A.V., Kolobov M.Yu.

Puchkov Pavel Vladimirovich, Zarubin Vasily Pavlovich, Kiselev Vyacheslav Valerievich, Toporov Alexey Valerievich

Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Ivanovo, Russia. 153040, Ivanovo region, Ivanovo, Stroiteley ave., 33.

E-mail: palpuch@mail.ru, docent432@yandex.ru, slavakis76@mail.ru, ironaxe@mail.ru

Kolobov Mikhail Yurievich

Ivanovo State University of Chemical Technology,

Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 7.

E-mail: mikhailkolobov@rambler.ru

The trouble-free operation of any mechanism depends on the correct operation of its individual components and assemblies, timely maintenance and, if necessary, high-quality repairs. An analysis of the reasons for the failure of the working mechanism makes it possible to single out the wear of the contacting surfaces as the main cause. As a result of wear, technical gaps increase, unacceptable backlashes appear, and the tightness of seals is violated. Further operation of such components and assemblies is unacceptable. It follows from this that a decrease in wear of friction surfaces increases the durability of parts, assemblies, assemblies and ensures their trouble-free operation. The material of the article is devoted to the issue of increasing the wear resistance of surfaces of machine parts due to hardening methods of machining. One of the most loaded vehicle components, the differential, was chosen as the object of research. A common cause of differential failure is the wear of the shaft journals at the points of contact with the lip seals. The article focuses on the use of diamond smoothing of the sections of the differential shafts that are more prone to wear. The advantages of the proposed method of machining are the sufficient simplicity of the hardening operation, low cost and the possibility of obtaining abrasion-resistant surface.

Key words: surface treatment, wear intensity, diamond burnishing, lip seal, work hardening, friction pair

Изучению износа рабочих органов машин и механизмов уделяется большое внимание [1-8]

Дифференциал входит в состав трансмиссии любого автомобиля. Его основное назначение заключается в обеспечении возможности движения автомобиля в поворотах без проскальзывания колес, то есть дает возможность вращаться колесам автомобиля с разными угловыми скоростями. Наиболее распространены конические дифференциалы, устанавливаемые на одну ось (рис. 1).

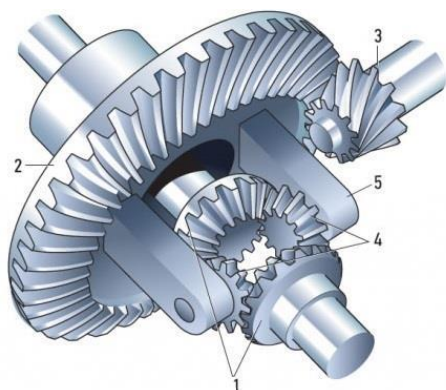


Рис. 1. Устройство конического дифференциала: 1 – шестерни полуосей; 2 – ведомая шестерня главной передачи; 3 – ведущая шестерня главной передачи; 4 – сателлиты; 5 – корпус

Fig. 1. The device of the conical differential: 1 - gears of the axle shafts; 2 - a conducted gear wheel of the main transfer; 3 - the main gear drive; 4 - satellites; 5 - body

Принцип работы конического дифференциала можно описать следующим образом:

1) При движении автомобиля прямолинейного его колеса вращаются с равными угловыми скоростями. Ведущая шестерня главной передачи передает движение ведомой шестерне главной

передачи вместе с закрепленными в корпусе сателлитами. При прямолинейном движении сателлиты остаются неподвижными и передают равный крутящий момент левой и правой полуоси автомобиля.

2) При вхождении автомобиля в поворот сателлиты начинают вращаться вокруг своей оси в разные стороны.

3) В результате, передаваемая мощность делится на равные доли, а в пропорции в зависимости от радиуса кривизны поворота, благодаря чему колеса автомобиля получают разные угловые скорости, что позволяет проходить повороты без пробуксовки или проскальзывания.

Таким образом, дифференциал автомобиля является важным элементом трансмиссии, исправная работа которого обеспечит безопасность движения по дорогам и необходимый уровень проходимости в условиях бездорожья. Поэтому следует уделять внимание данному узлу при проведении технического обслуживания автомобильной техники. Характерным признаком неисправности данного узла являются шум при движении на скоростях свыше 50 км/ч. Причиной может стать износ шестерен в случае утечек смазочного материала или частичной или полной потере смазывающих свойств масла. Таким образом герметичность корпуса дифференциала является залогом его нормальной работы. Одной из причин нарушения герметичности корпуса дифференциала является износ манжетного уплотнения вала ведущей шестерни главной передачи и манжетных уплотнений полуосей. Повышение температуры смазочного материала в процессе работы приводит к увеличению текучести масла и к повышению давления внутри корпуса дифференциала.

Это оказывает дополнительную нагрузку на манжетные уплотнения и требует от них достаточной герметичности даже в тяжелых условиях.

Основными материалами для изготовления манжетных уплотнений являются различные виды термопластичного полиуретана или синтетического бутадиен-нитрильного каучука. В процессе работы происходит истирание манжеты и вала, образуется зазор и как следствие нарушается герметичность узла. Устранение возникшей неисправности не всегда решается заменой манжетного уплотнения. При значительном износе шейки вала (рис. 2) новое манжетное уплотнение не полностью герметизирует дифференциал.



Рис. 2. Изношенный участок вала под манжетное уплотнение
Fig. 2. Worn section of the shaft under the lip seal

Таким образом, устойчивость материала вала к истиранию имеет большое значение в надежной работе манжетных уплотнений дифференциала автомобиля.

Существует несколько способов повышения износостойкости поверхностей трения. В настоящей работе сделан акцент на качестве проведения поверхностной обработки валов с целью улучшения их геометрических и механических параметров. Повышать качество обработки поверхности вала с одновременным повышением его механических характеристик предлагается с помощью применения упрочняющих методов обработки [9-11]. Проведя анализ таких методов можно сделать вывод, что самыми распространенными являются термическая и химико-термическая обработка, газотермическое напыление и механическая обработка. Каждый из названных методов имеет ряд преимуществ и недостатков и может быть применен только в определенном случае.

В данной работе был исследован метод

упрочнения вала с помощью алмазного выглаживания. Определяющим критерием выбора именно этого способа являлись простота технологического процесса, относительно доступное оборудование и высокие показатели твердости и износостойкости поверхностей после обработки. Улучшение механических и триботехнических показателей происходит за счет пластического деформирования поверхностных слоев обрабатываемой детали (рис. 3).

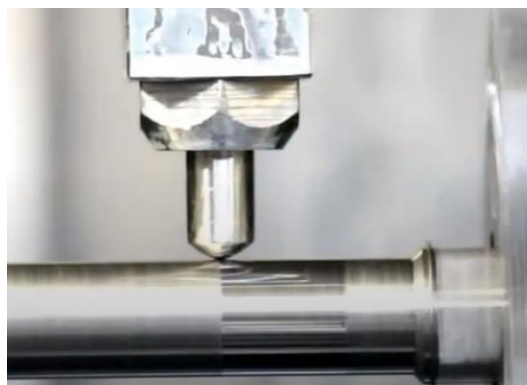


Рис. 3. Алмазное выглаживание
Fig. 3. Diamond smoothing

Обработка поверхности заключается в действии специального инструмента по радиальному направлению к обрабатываемой детали. Сила, с которой выглаживатель действует на деталь, вызывает контактные давления [12, 13]. Чем выше сила прижатия инструмента, тем больше давление на поверхности и тем сильнее деформируется материал детали. При проведении обработки определяющим параметром является радиальная сила. Диапазон значений радиальной силы во время обработки зависит от обрабатываемого материала. В случае превышения значений давления предела текучести материала наблюдается пластическая деформация тонких поверхностных слоев. Это приводит к искажению исходной кристаллической решетки. При равномерном увеличении радиальной силы в допустимых диапазонах на поверхности обрабатываемой детали происходит сглаживание неровностей, оставшихся от механической обработки и образование на поверхности детали нового микрорельефа.

Известно, что при проведении такой обработки изменению подвергается только поверхностный слой, оставляя без изменений сердцевину детали. Однако радиальная сила является не единственным параметром, влияющим на качество обработки. При проведении работ следует учитывать свойства материалов обрабатываемой детали, что оказывает влияние на выбор скорости прове-

дения обработки и значение подачи. Правильно выбранный режим обработки детали обеспечивает снижение шероховатости и повышение микротвердости. В данной работе исследование проводилось с четырьмя одинаковыми образцами валов,

изготовленных из стали 40X8. Каждый из образцов подвергался различным видам обработки, после чего определялась микротвердость их поверхностей. Результаты экспериментов показаны на рис. 4.

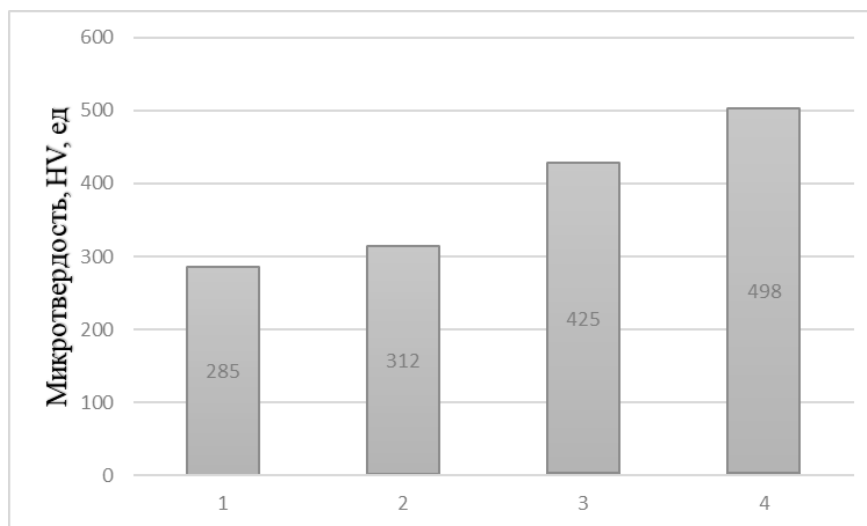


Рис. 4. Зависимость изменения микротвердости HV в зависимости от способа обработки стали 40X8:

1 – точение без термообработки, 2 – точение + алмазное выглаживание,

3 – точение + термообработка, 4 – точение + термообработка + алмазное выглаживание

Fig. 4. The dependence of the change in microhardness HV depending on the method of processing

steel 40X8: 1 - turning without heat treatment, 2 - turning + diamond burnishing,

3 - turning + heat treatment, 4 - turning + heat treatment + diamond burnishing

Результаты исследований позволяют сделать вывод, что все исследуемые виды обработки положительно влияют на микротвердость обработанной поверхности. Проведение алмазного выглаживания непосредственно после точения повышает микротвердость на 8%. Термическая обработка – на 33%. Проведение комплексной обработки позволило получить максимальное значение микротвердости обработанных деталей. Повышение микротвердости поверхности обработанной детали составило 74% по сравнению с деталью без упрочняющих обработок. Кроме повышения микротвердости стоит отметить снижение шероховатости обработанных поверхностей, что положительно отражается на приработке и дальнейшей работе деталей.

Также алмазное выглаживание оказывает положительное влияние на повышение коррозионной стойкости материалов, что, в свою очередь, также снижает разрушение поверхности. Для оценки изменения глубинного показателя скорости коррозии был проведен ряд исследований на коррозионную стойкость. Используя стандартную методику определения стойкости сталей против межкристаллитной коррозии, были получены за-

висимости, представленные на рис. 5.

Полученные результаты подтверждают положительное влияние алмазного выглаживания на свойства обработанного материала. Стоит отметить, что свойства материала после алмазного выглаживания имеют такие же свойства по показателю скорости коррозии как и после термической обработки. Совместное применение термообработки и алмазного выглаживания значительно снижают глубинный показатель коррозии. Данный показатель снизился в 2,18 раза. Применение в качестве финишной обработки алмазного выглаживания позволит снизить шероховатость поверхностного слоя вала, при этом упрочнив его. Такой тип упрочнения положительно сказывается и на его коррозионной стойкости.

Как известно, тип поверхностной обработки влияет на износостойкость деталей. Для оценки данного показателя в работе определялась интенсивность износа трущихся поверхностей. Для этого применялся «метод искусственных баз» по заранее нанесенным отпечаткам. Испытуемый образец устанавливался на разработанной установке для оценки износостойкости пар трения (рис. 6).

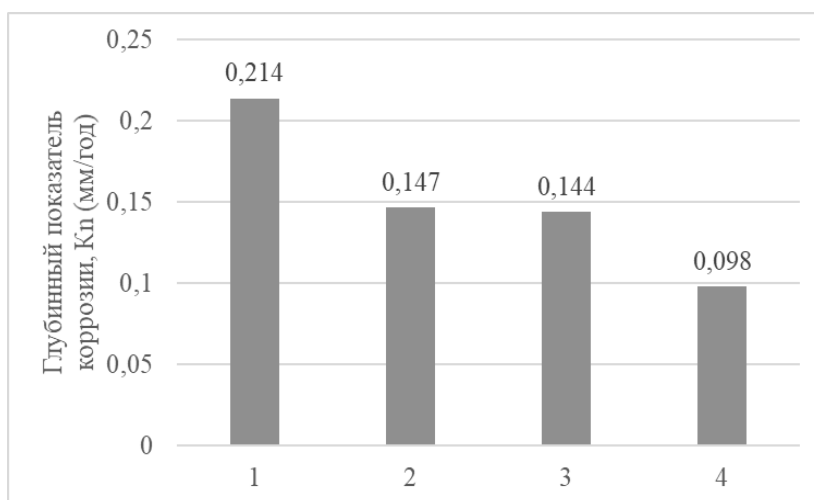


Рис. 5. Зависимость изменения глубинного показателя скорости коррозии от способа обработки стали 40X8:1 – точение без термообработки, 2 – точение + алмазное выглаживание, 3 – точение + термообработка, 4 – точение + термообработка + алмазное выглаживание
 Fig. 5. Dependence of the change in the depth index of the corrosion rate on the processing method steel 40X8:1 - turning without heat treatment, 2 - turning + diamond burnishing, 3 - turning + heat treatment, 4 - turning + heat treatment + diamond burnishing

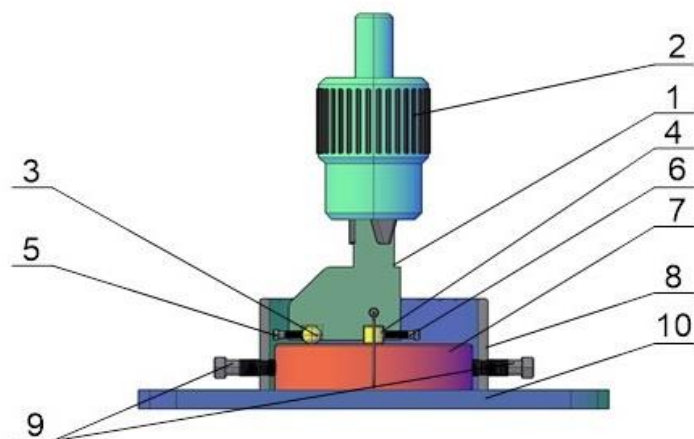


Рис. 6. Общий вид экспериментальной установки:
 1 – держатель, 2 – патрон, 3 – стальной шарик, 4 – цилиндр,
 5, 6 – винты, 7 – основание, 8 – корпус, 9 – винты, 10 – рабочий стол
 Fig. 6. General view of the experimental setup:
 1 - holder, 2 - cartridge, 3 - steel ball, 4 - cylinder,
 5, 6 - screws, 7 - base, 8 - case, 9 - screws, 10 - desktop

Данная установка может применяться для исследования процесса износа в различных парах трения в присутствии или отсутствии смазочного материала в зоне трения, при точечном или плоскостном контакте тел трения в условиях различных контактных усилий.

На рис. 7 представлены результаты определения интенсивности износа от величины микротвердости образцов.

Анализируя результаты трибологических исследований, можно сделать заключение о прямой зависимости интенсивности изнашивания образцов от величины микротвердости их поверхности. Как следует из диаграммы, представленной на рис. 7, максимальное значение интенсивности изнашивания наблюдается у образцов, поверхность которых обработана точением без термической обработки с меньшими значениями микротвердости.

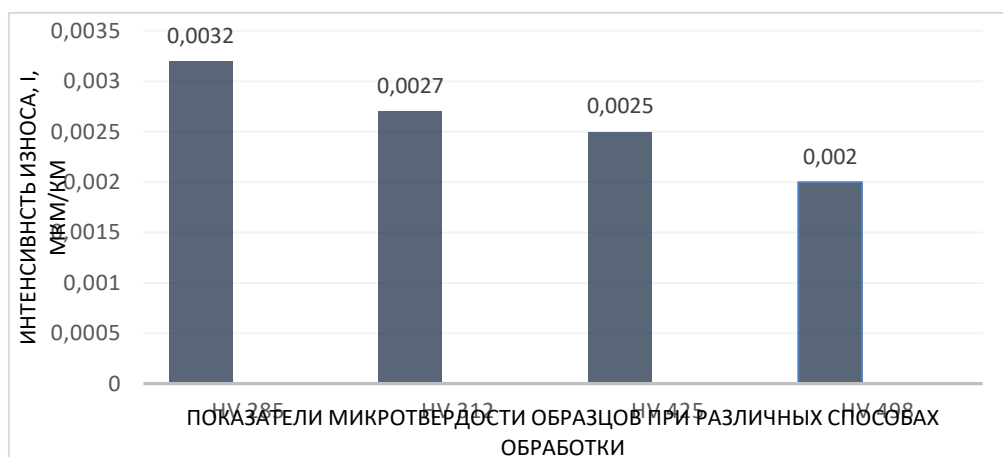


Рис. 7. Диаграмма изменения интенсивности износа в зависимости от микротвердости HV
 Fig. 7. Diagram of change in wear intensity depending on the microhardness HV

После проведения операций по увеличению микротвердости поверхности трения было замечено снижение интенсивности изнашивания. Так, например, повышение микротвердости на 10% с помощью алмазного выглаживания позволяет понизить интенсивность изнашивания на 15%. Термическая обработка, повышающая микротвердость на 32%, снижает интенсивность изнашивания на 21%. Совместное применение термической обработки с последующим алмазным выглаживанием показывает максимальное снижение интенсивности изнашивания на 37%.

Полученные в результате исследования данные дают возможность считать, что применение в качестве упрочняющей обработки точения с термообработкой и последующим алмазным выглаживанием позволит увеличить износостойкость поверхностей валов дифференциала в местах контакта с манжетными уплотнениями.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гаркунов Д.Н.** Триботехника (износ и безызносность). М.: Издательство МСХА, 2001. 616 с.
2. **Колобов М.Ю., Миронов Е.В., Чагин О.В., Колобова В.В.** Установка для испытания материалов деталей на абразивный износ. Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 15 апреля 2021. С. 419–422.
3. **Колобов М.Ю., Сахаров С.Е., Чагин О.В., Абалихин А.М., Колобова В.В.** Технические средства для приготовления смесей зерновых компонентов комбикормов. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение.* Иваново, 2021. № 2. С. 108–117. DOI: 10.6060/snt.20216602.00015
4. **Колобов М.Ю., Блиничев В.Н., Колобова В.В.** Износ плоских разгонных элементов центробежного измельчителя. Сборник материалов 14 международной научно-технической конференции «Технологическое обеспечение и повышение качества изделий машиностроения и авиакосмической отрасли». Брянск, 5–7 октября 2022 г. С. 62–65.
5. **Колобова В.В., Колобов М.Ю.** Повышение эффективности применения гипсовых материалов. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение.* Иваново, 2021. № 4. С. 50–55. DOI: 10.6060/snt.20216804.0007

REFERENECES

1. **Garkunov D.N.** Tribotechnics (wear and wearlessness). M.: Publishing House of Moscow Agricultural Academy, 2001. 616 p.
2. **Kolobov M.Yu., Mironov E.V., Chagin O.V., Kolobova V.V.** Installation for testing materials of parts for abrasive wear. Reliability and durability of machines and mechanisms. Collection of materials of the XII All-Russian scientific-practical conference. Ivanovo, April 15, 2021. P. 419–422.
3. **Kolobov M.Yu., Sakharov S.E., Chagin O.V., Abalikhin A.M., Kolobova V.V.** Technical means for the preparation of mixtures of grain components of animal feed. *Modern science-intensive technologies. Regional application.* Ivanovo, 2021. N 2. P. 108–117. DOI: 10.6060/snt.20216602.00015
4. **Kolobov M.Yu., Blinichev V.N., Kolobova V.V.** Wear of flat accelerating elements of a centrifugal grinder. Collection of materials of the 14th international scientific and technical conference "Technological support and improvement of the quality of mechanical engineering and aerospace products." Bryansk, October 5–7, 2022. P. 62–65.
5. **Kolobova V.V., Kolobov M.Yu.** Improving the efficiency of the use of gypsum materials. *Modern science-intensive technologies. Regional application.* Ivanovo, 2021. N 4. P. 50–55. DOI: 10.6060/snt.20216804.0007
6. **Lomanova V.S., Mozhin N.A., Tuvin A.A.** The use of repair and restoration compounds. *Modern science-intensive technologies. Regional application.* Ivanovo, 2021. N 2, P. 84–88. DOI: 10.6060/snt.20216602.00011

6. Ломанова В.С., Можин Н.А., Тувин А.А. Применение ремонтно-восстановительных составов. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. Иваново, 2021. № 2. С. 84–88. DOI: 10.6060/snt.20216602.00011
7. Колобов М.Ю., Чагин О.В., Блиничев В.Н. Повышение долговечности рабочих органов центробежно-ударных измельчителей. *Российский химический журнал*. Иваново, 2019. Т. LXIII, № 3–4. С. 40–44. DOI: 10.6060/rcj.2019633.5
8. Крагельский И.В. Новые аспекты науки о трении и износе. Физико-химическая механика контактного взаимодействия и фреттинг – коррозия. Киев: Книга, 1973. 526 с.
9. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. М.: Машиностроение, 1968. 178 с.
10. Волков А.В. Различные способы модификации поверхностей проточной части динамических насосов с целью повышения их эксплуатационных качеств. Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. двенадцатой Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. М., 2006. Т. 3. С. 281–282.
11. Сорокин В.М. Повышение качества поверхности и долговечности деталей машин ударно-импульсной и комбинированной обработкой. Н.Новгород: АТМ, 1996. 246 с.
12. Торбило В.М. Алмазное выглаживание. М.: Машиностроение, 1972. 105 с.
13. Маршаков И.К. Термодинамика и коррозия сплавов. Воронеж, 1983. 167 с.
7. Kolobov M.Yu., Chagin O.V., Blinichev V.N. Increasing the durability of the working bodies of centrifugal impact grinders. *Russian chemical journal*. Ivanovo, 2019. Vol. LXIII, N 3–4. P. 40–44. DOI: 10.6060/rcj.2019633.5
8. Kragelsky I.V. New aspects of the science of friction and wear. *Physical and chemical mechanics of contact interaction and fretting - corrosion*. Kyiv: Book, 1973. 526 p.
9. Papshev D.D. Finishing and hardening treatment by surface plastic deformation. М.: Mashinostroenie, 1968. 178 p.
10. Volkov A.V. Various ways of modifying the surfaces of the flow part of dynamic pumps in order to improve their performance. *Radio electronics, electrical engineering and energy: Proc. report twelfth International sci.-tech. conf. students and graduate students*. М., 2006. Т. 3. P. 281–282.
11. Sorokin V.M. Improving the surface quality and durability of machine parts by shock-pulse and combined processing. N. Novgorod: ATM, 1996. 246 p.
12. Torbilo V.M. Diamond smoothing. М.: Mashinostroenie, 1972. 105 p.
13. Marshakov I.K. Thermodynamics and corrosion of alloys. Voronezh, 1983. 167 p.