

ВЛИЯНИЕ НАНОАЛМАЗНОЙ ПРИСАДКИ ДЛЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ ПЛУНЖЕРНОЙ ПАРЫ

Л. А. НОВОПАШИН,
кандидат технических наук, доцент,
Ю. В. ПАНКОВ,
кандидат химических наук, доцент,
А. А. САДОВ,
аспирант,
П. В. КОЧЕТКОВ,
аспирант, Уральский государственный аграрный университет
(620075, Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42; тел.: 8 (343) 371-33-63)

Ключевые слова: дизельное топливо, топливные насосы высокого давления (ТНВД), плунжер, втулка плунжера, геометрические размеры, присадка.

Эффективная эксплуатация и надежная работоспособность тракторов зависит от системы технологий восстановления, обеспечивающих необходимые конструктивные размеры прецизионных плунжерных пар топливных насосов высокого давления (ТНВД) дизельных двигателей. Разработанные системы технологий технического обслуживания и текущего ремонта машин стремятся сохранить эксплуатационный ресурс всех агрегатов машины до 10–15 тыс. моточасов. Эти требования относятся к работе топливной аппаратуры автомобилей, тракторов и комбайнов с дизельными двигателями. Традиционные технологии восстановления кинематических пар и плунжерных пар ТНВД не могут обеспечить требуемый ресурс работы топливного насоса дизельного двигателя. Увеличение ресурса можно осуществить при использовании новых высокоэффективных технологий технического обслуживания и ремонта сложных высокоточных элементов без применения операций разборки-сборки технического устройства. Сегодня отсутствуют методики определения общего технического состояния и надежной работы ТНВД дизельных двигателей. Хорошие и перспективные результаты, улучшающие техническое состояние кинематических пар, были получены от применения наноалмазной присадки. Практика показывает, что 25–30 % всех отказов дизельных двигателей приходится на топливную аппаратуру. Из этих отказов 60 % приходится на ТНВД из-за состояния плунжерных пар. Критерием работоспособности новых прецизионных плунжерных пар является величина зазора между рабочими поверхностями втулки и плунжера, для бывших в эксплуатации – величины локального износа поверхностей деталей или утечка топлива. Поэтому исследования по применению наноалмазной присадки триботехнических составов в прецизионных плунжерных парах ТНВД весьма актуальны. Объект исследования – прецизионная плунжерная пара топливного насоса высокого давления. Исследования по процессам износа и восстановления проводились на насосе модели УТН-5 с наработкой 1000 моточасов. При исследовании проверялось изменение конструктивных геометрических размеров плунжера и плунжерной гильзы до применения наноалмазной присадки и после 1146000 циклов работы плунжерной пары на стенде под нагрузкой работы форсунок.

EFFECT OF NANO DIAMOND ADDITIVE FOR DIESEL FUEL IN THE GEOMETRIC DIMENSIONS OF PLUNGER PAIR

L. A. NOVOPASHIN,
candidate of technical sciences, associate professor,
Yu. V. PANKOV,
candidate of chemical sciences, associate professor,
A. A. SADOV,
graduate student,
P. V. KOCHETKOV,
graduate student, Ural State Agrarian University
(42 K. Liebknechta Str., 620075, Ekaterinburg; tel.: +7 (343) 371-33-63)

Keywords: diesel fuel, high pressure pump plunger (HPPP), plunger, bushing plunger, geometric dimensions, additive.

Efficient operation and reliable performance tractors depends on system recovery technologies that provide the necessary structural dimensions of precision plunger high pressure pump plunger (HPPP) of diesel engines. Developed technology systems maintenance and repair of cars trying to preserve the service life of all units of the machine up to 10–15 thousand hours. These requirements apply to the work of fuel equipment of cars, tractors and combines with diesel engines. Traditional recovery technology kinematic pairs and plunger injection pump cannot provide the desired service life of the fuel pump of the diesel engine. Increased service life of the fuel pump can be carried out using the new high-performance maintenance technologies and maintenance of complex high-precision components without the use of assembly-disassembly operations of the technical device. There is currently no method of determining the total technical condition and reliable operation of the injection pump diesel engines. Good and promising results that improve the technical condition of the kinematic pairs were obtained from the use of nano diamond additives. Practice has shown that 25–30 % of all failures of diesel engines account for fuel equipment. Of these, 60 % are failures in the pump due to the state of plunger. The criterion of precision performance of new plunger is the size of the gap between the working surfaces of the sleeve and the plunger, for being in use – value of the local wear surfaces of parts or fuel leakage. Therefore, studies on the use of nano diamond tribological additive compositions of HPPP are very actual. The object of study is a pair of precision plunger high-pressure fuel pump. Studies on the processes of wear and restoration carried out on the pump model UTN-5 with operating time 1000 hours. In the study tested the change of structural geometry of the plunger and plunger sleeve sizes before application of nano diamond and after 1146000 cycles work the plunger assembly on the stand under a load of work of atomizers.

Положительная рецензия представлена Е. Е. Баженовым, доктором технических наук, профессором, директором института автомобильного транспорта и технологических систем Уральского государственного лесотехнического университета.

При эксплуатации топливного насоса высокого давления в различных режимах работы плунжерной пары топливного насоса происходят изменения поверхностей плунжера и плунжерной гильзы – как физико-механических свойств металла (структуры поверхностей), так и геометрических размеров прецизионной пары. Изменение размеров плунжера и гильзы приводит к появлению зазоров между сопряженными поверхностями, что ведет к снижению качества подачи топлива в форсунки. Необходимо определить зазор плунжерной пары в процессе износа и изменение размеров зазора при участии наноалмазной присадки в дизельном топливе.

Цель исследования – проверка текущего износа плунжерных пар на топливном насосе высокого давления модели УТН-5 (унифицированный топливный насос 5 модели) (рис. 1).

Плунжер и гильза изнашиваются в определенных местах исследуемой кинематической пары, которые локально появляются в процессе работы плунжера-гильзы и получили названия местных износов. Местный и сосредоточенный характер износа плунжера и

гильзы преждевременно выводит эту пару из строя. Максимальный износ плунжера и гильзы имеется там, где топливо с мельчайшими абразивными частицами под высоким давлением, а следовательно, и с большой скоростью прорывается к окну (рис. 2а, б).

В результате действия сил (P_m, F_{mp}, F_k, F_{cm}) происходит повышенный износ поверхностей плунжера, гильзы и нагнетательного клапана. Интенсивный прорыв топлива к окну происходит в момент перекрытия окна при нагнетательном ходе и в момент, близкий к отсечке. Поэтому износ у гильзы располагается вверх и вниз от окна (преимущественно вверх). У плунжера износ располагается в его верхней части, больше у торцевой и отсечной кромок.

Для определения изменения размеров плунжерной пары в процессе износа и восстановления произведены измерения в двух плоскостях X и Y в трех точках поверхности цилиндрической части плунжера (рис. 3а). Схема восстановления плунжера представлена на рис. 3б.

Результаты замеров плунжера до и после применения присадки представлены в табл. 1.

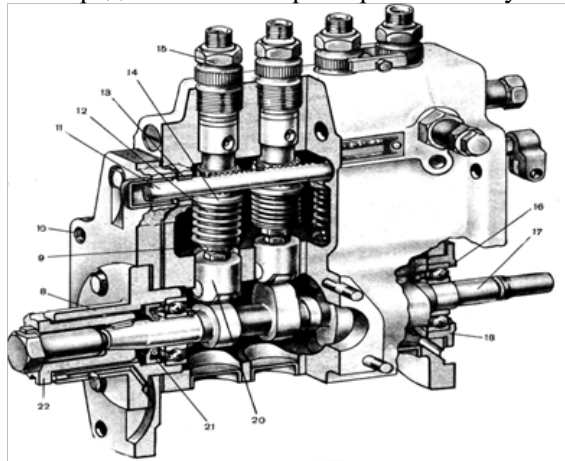


Рис. 1. Топливный насос УТН-5
Fig. 1. The fuel pump UTN-5

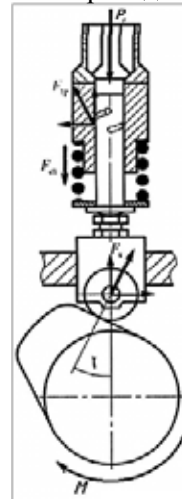
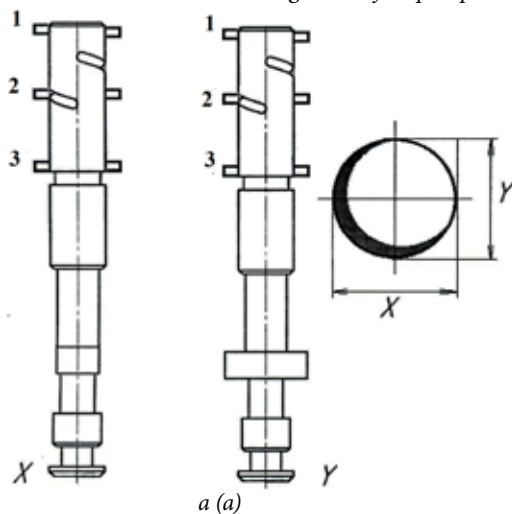


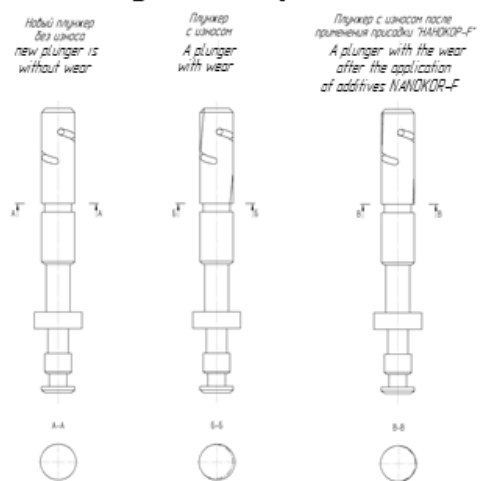
Рис. 2. Схема сил кулачкового устройства, действующих на плунжерную пару при перемещении толкателя-плунжера, и зона наибольшего износа плунжера-гильзы: M – момент, вращающий кулачковый вал; F_k – сила действия кулачка на толкатель; F_{cm} – сила статической нагрузки пружины; F_{tr} – сила трения в паре «плунжер-гильза»; P_t – гидродинамическая сила давления топлива

Fig. 2. Diagram of the forces of the cam device, acting on the plunger pair when moving the pusher-plunger and a zone of greatest wear plunger-sleeve: M – the moment of rotating cam shaft; F_k – the force of the cam action of the pusher; F_{st} – static force of the spring load; F_{tr} – the frictional force in a pair of «plunger-sleeve»; P_t – fuel hydrodynamic pressure force



а (a)

Схема восстановления плунжера
Plunger recovery scheme



б (b)

Рис. 3. Схема плунжера топливного насоса: а – схема замера размеров плунжера в двух плоскостях X и Y по трем точкам; б – схема плунжера нового с износом и после восстановления наноалмазной присадкой
Fig. 3. Driving the fuel pump plunger: а – scheme metering plunger circuit sizes in two directions X and Y at the three points; б – scheme of the new plunger with wear and after the restoration of nanodiamond additive



Таблица 1
Геометрические размеры плунжера 1-й и 4-й секций насоса до и после применения присадок «НАНОКОР- F» при проведении эксперимента в плоскостях X, Y

Плоскость X секция 1, мм		Плоскость Y секция 1, мм		Плоскость X секция 4, мм		Плоскость Y секция 4, мм	
до	после	до	после	до	после	до	после
9,017	9,018.	9,017	9,018	9,034	9,036	9,029	9,036
9,016	9,017	9,017	9,017	9,03	9,034	9,029	9,034
9,017	9,018	9,017	9,018	9,031	9,036	9,027	9,036

Table 1

The geometrical dimensions of the plunger of the 1st and 4th sections of the pump before and after the use of additives “NANOKOR- F” for the experiment in the planes X, Y

Plane X section 1, mm		Plane Y section 1, mm		Plane X section 4, mm		Plane Y section 4, mm	
before	after	before	after	before	after	before	after
9.017	9.018.	9.017	9.018	9.034	9.036	9.029	9.036
9.016	9.017	9.017	9.017	9.03	9.034	9.029	9.034
9.017	9.018	9.017	9.018	9.031	9.036	9.027	9.036

Секция 1
Section 1

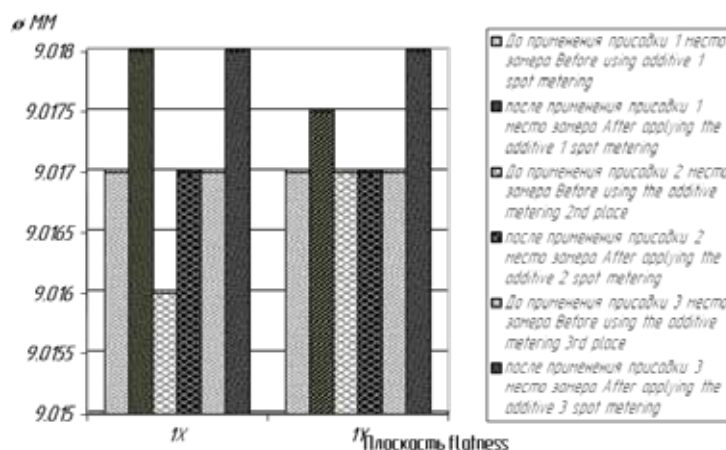


Рис. 4. Диаграмма геометрических размеров плунжера 1-й секции до и после испытания наноалмазной присадки «НАНОКОР-F»
Fig. 4. Diagram of geometrical dimensions plunger 1st section before and after the test of nanodiamond additives “NANOKOR-F”

Секция 4
Section 4

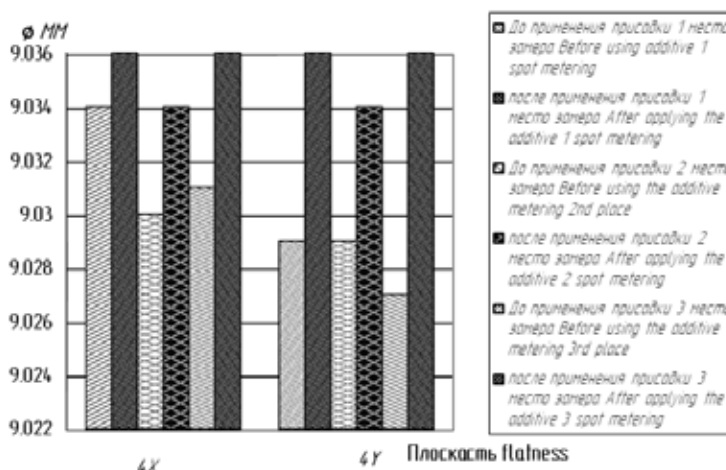


Рис. 5. Диаграмма геометрических размеров плунжера 4-й секции до и после испытания наноалмазной присадки «НАНОКОР-F»
Fig. 5. Diagram of geometrical dimensions of the plunger 4th section before and after the test of nanodiamond additives “NANOKOR-F”

По результатам замеров плунжера 1-й и 4-й секции ТНВД представлены диаграммы изменения геометрических размеров до и после применения наноалмазной присадки «НАНОКОР-F» на рис. 4 и 5.

Замеры геометрических размеров плунжера ТНВД секции 1-й и 4-й до обкатки на стенде и по-

сле обкатки на стенде при добавлении в топливо присадки, содержащей ультрадисперсные алмазы «НАНОКОР-F», показали, что происходит значительное увеличение размеров плунжера.

Замеры геометрических размеров гильзы плунжерной пары ТНВД до обкатки на стенде и по-

сле обкатки на стенде при добавлении в топливо присадки, содержащей ультрадисперсные алмазы «НАНОКОР-F» секции 1 и 4, представлены в табл. 2.

Схема изменения величины износа гильзы плунжерной пары ТНВД представлена на рис. 6.

В результате проведенных исследований применения присадок «НАНОКОР-F», содержащих ультрадисперсные алмазы, в дизельное топливо обнаружено восстановление прецизионных зазоров между сопряженными поверхностями плунжерной пары плунжер-гильза. Уменьшение зазоров плунжерной пары происходит за счет наращивания (восстановления) микротонкого слоя адсорбированного материала на поверхностях плунжера и гильзы. Механизм восстановления геометрических размеров сопряженных поверхностей можно выразить алгоритмом образования и роста слоев через адсорбирование ультрадисперсных частиц металла и алмазов посредством физических сил Ван-Дер Ваальса. Происходит

упрочнение поверхностного слоя за счет процесса внедрения углерода, содержавшегося в частицах алмаза, в кристаллическую решетку разогретого металла плунжерной пары. Появляется износостойчивое покрытие.

Выводы. При восстановлении геометрических размеров плунжерной пары ТНВД в процессе обкатки на стенде насоса УТН-5 под нагрузкой при работе форсунок с применением ультрадисперсных алмазов в присадках «НАНОКОР-F» к дизельному топливу были получены следующие результаты.

1. Адсорбционное покрытие поверхностей плунжера и гильзы наночастицами и внедрение их в кристаллическую решетку металла под действием силового воздействия формирует поверхностный слой в зоне трения.

2. Происходит увеличение диаметра плунжера и уменьшение геометрических размеров отверстия гильзы плунжерной пары УТН-5.

Таблица 2
Геометрические размеры гильзы 1-й и 4-й секций насоса ТНВД до и после применения присадок «НАНОКОР-F» при проведении эксперимента в плоскостях X, Y

Плоскость X секция 1, мм		Плоскость Y секция 1, мм		Плоскость X секция 4, мм		Плоскость Y секция 4, мм	
до	после	до	после	до	после	до	после
9,023	9,021.	9,022	9,021	9,040	9,039	9,035	9,039
9,022	9,020	9,022	9,021	9,035	9,036	9,034	9,037
9,023	9,021	9,022	9,021	9,037	9,039	9,036	9,039

Table 2

The geometrical dimensions of the sleeve of the 1st and 4th sections of the pump before and after the high pressure pump using of additives “NANOKOR-F” for the experiment in the planes X, Y

Plane X section 1, mm		Plane Y section 1, mm		Plane X section 4, mm		Plane Y section 4, mm	
before	after	before	after	before	after	before	after
9.023	9.021.	9.022	9.021	9.040	9.039	9.035	9.039
9.022	9.020	9.022	9.021	9.035	9.036	9.034	9.037
9.023	9.021	9.022	9.021	9.037	9.039	9.036	9.039

Схема восстановления втулки плунжера
Scheme of the recovery of the plunger bushings

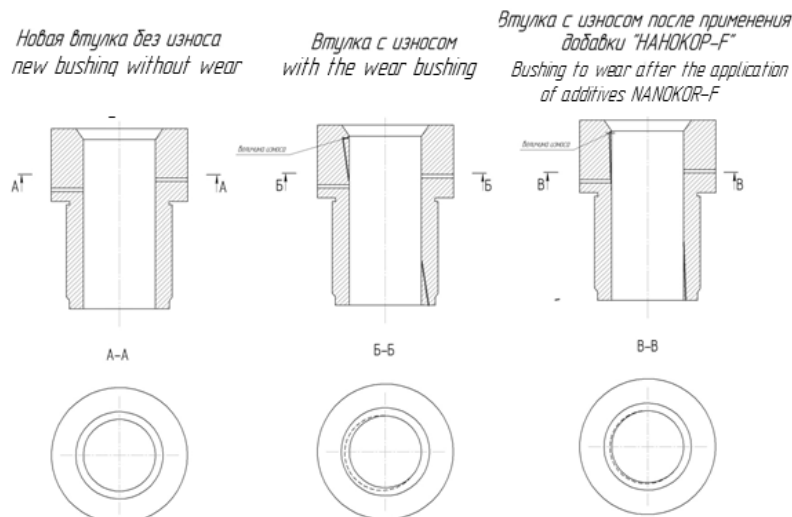


Рис. 6. Схема изменения величины износа гильзы плунжерной пары ТНВД
Fig. 6. Scheme of change of the wear liner pump plunger assembly



3. Уменьшается зазор прецепзионной кинематической пары плунжер-гильза УТН-5 нагнетательного устройства.

4. Увеличивается межремонтный ресурс ТНВД. Эффект от использования присадки «НАНОКОР-F» к дизельному топливу сохраняется после обкатки на стенде более 500 моточасов.

Литература

1. Азясев А. В., Садаков И. А., Новопашин Л. А. Использование этанола в качестве добавки к топливу для бензиновых двигателей // Вестник науки Костанайского социально-технического университета им. академика З. Алдамжар. 2012. № 1.
2. Садов А. А., Говорухин И. А., Чадов А. С. Влияние транспорта на окружающую среду и мероприятия // Молодежь и наука. 2014. № 4
3. Новопашин Л. А., Денежко Л. В., Иовлев Г. А., Чирков Н. Ф., Садов А. А. Увеличение моторесурса и снижения токсичности ДВС путем применения присадок «НаноКОР-F» в системе смазки ВАЗ-2108 // Вестник науки Костанайского социально-технического университета им. академика З. Алдамжар. 2015. № 1. С. 123–130.
4. Новопашин Л. А., Денежко Л. В., Павлов В. Е. Результаты исследования влияния применения наноалмазной (ультрадисперсные алмазы) присадки «НАНОКОР-F» на эксплуатационные показатели двигателя // Аграрный вестник Урала. 2015. № 4. С. 58–62.
5. Образцов Л. Н. Применение наноалмазов в смазочных композициях – эффективный путь повышения контактной долговечности подшипников качения // Ползуновский альманах 2009. № 2.
6. Тихонов Д. В., Ильин А. П., Назаренко О. Б. Защитные покрытия и термическая устойчивость нанопорошков алюминия, полученных в условиях электрического взрыва // Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 3. С. 5–10.
7. Ильин А. П. Направления исследований фундаментальных свойств нанопорошков металлов // Перспективы развития фундаментальных наук : сб. науч. тр. VI Междунар. конф. студентов и молодых ученых. Томск, 20–23 апреля 2010. Томск : ТПУ, 2010. С. 303–304.
8. Шувалов Г. В., Клековкин И. В., Ильин А. П., Тихонов Д. В., Коршунов А. В., Толбанова Л. О. Методы диагностики металлов в наносостоянии // Вестник Дальневосточного государственного технического университета. 2010. № 1.
9. Павлов В. Е., Золотарев В. В., Ильин А. П., Мостовщиков А. В. Проблемы восстановления изношенных пар трения и продление срока эксплуатации машин и механизмов // Известия международной академии аграрного образования. 2015. № 25.
10. Кирсанов С. В., Бабаев А. С., Ильин А. П., Мостовщиков А. В. Исследование износа покрытий на направляющих элементах ружейных сверл // Инженерный журнал. 2015. № 10. С. 34–37.

References

1. Aziasev A. V., Sadakov I. A., Novopashin L. A. Use of ethanol as a fuel additive for gasoline engines // Journal of science of Kostanai Socio-Technical University of academician Z. Aldamzhar. 2012. № 1.
2. Sadv A. A., Govorukhin I. A., Chadov A. S. Impact of transport on the environment and events // Youth and science. 2014. № 4.
3. Novopashin L. A., Denezhko L. V., Iovlev G. A., Chirkov N. F., Sadv A. A. Increase service life and reduce the toxicity of the internal combustion engine by use of additives “Nanocor-F” in the lubrication system of VAZ-2108 // Journal of science of Kostanai Socio-Technical University of academician Z. Aldamzhar. 2015. № 1. P. 123–130.
4. Novopashin L. A., Denezhko L. V., Pavlov V. E. Results of research of influence of application of nano-diamond (ultra dispersed diamonds) additive “NANOCOR-F” on the performance of the engine // Agrarian Bulletin of the Urals. 2015. № 4. P. 58–62.
5. Obraztsov L. N. Application of nanodiamonds in lubricating compositions – effective way to increase the durability of the contact roller bearings // Polzunovsky almanac. 2009. № 2.
6. Tikhonov D. V., Ilyin A. P., Nazarenko O. B. Protective coatings and skye conventional thermal-resistance aluminum nanopowders obtained under electrical explosion // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2011. Vol. 319. № 3. P. 5–10.
7. Ilyin A. P. Areas of research of fundamental properties of metals nanopowder // Prospects of development of basic science : Proceedings of the VI International conference of students and young scientists. Tomsk, April 20–23, 2010. Tomsk : Tomsk Polytechnic University, 2010. P. 303–304.
8. Shuvalov G. V., Klekovkin I. V., Ilyin A. P., Tikhonov D. V., Korshunov A. V., Tolbanova L. O. Methods of diagnosis of metals in nanostate // Bulletin of the Far Eastern State Technical University. 2010. № 1.
9. Pavlov V. E., Zolotarev V. V., Ilyin A. P., Mostovshikov A. V. Problems restored worn pairs of friction and extend the life of machines and mechanisms // Proceedings of the International Academy of Agricultural Education. 2015. № 25.
10. Kirsanov S. V., Babayev A. S., Ilyin A. P., Mostovshikov A. V. A study of the wear coating on the guide elements of the gun drill // Engineering Journal. 2015. № 10. P. 34–37.