РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТА ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ФОРСУНОК АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

С.В. Тимохин, доктор техн. наук, профессор; П.В. Богатырев, инженер;

А.В. Поликанов, кандидат технических наук, доцент;

В.А. Мачнев, доктор техн. наук, профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет», г. Пенза, Россия,
e-mail: timohinsv@gmail.com

В работе рассмотрены вопросы ремонта электрогидравлических форсунок (ЭГФ), широко распространенных в автотракторных и комбайновых дизелях. Фактический ресурс ЭГФ в эксплуатации значительно ниже заявляемого и его восстановление путем проведения ремонтно – обслуживающих воздействий является целесообразным, как с технической, так и с экономической точек зрения. Проведенный анализ характерных неисправностей ЭГФ показывает, что одним из наиболее изнашиваемых элементов ЭГФ является контактная поверхность седла шарикового электромагнитного клапана. Рассмотрены типовые и альтернативные технологии ремонта седла клапана и предложен способ их улучшения вибронаклепом контактной поверхности. Сформулированы цель и задачи исследований. Проведены теоретическое обоснование процесса вибронаклепа седла шарикового клапана ЭГФ и его лабораторные и стендовые исследования, результаты которых подтвердили рабочую гипотезу о возможности формирования упрочненной вибронаклепом контактной поверхности клапана. Применение предлагаемого способа позволит увеличить ресурс отремонтированных форсунок, при небольших затратах на его реализацию.

Ключевые слова: дизель, электрогидравлическая форсунка, управляющий клапан, контактная поверхность, вибронаклеп, электромагнит.

Введение

Эффективность использования транспортных средств и сельскохозяйственных машин в значительной степени определяется характеристиками установленных на них ДВС. В последние годы все большее распространение на транспорте получают дизельные двигатели. Такими двигателями оснащается подавляющее большинство грузовых автомобилей, автобусов и сельскохозяйственная техника.

Используемые в автотракторных дизелях топливоподающие системы с кулачковым приводом и механическими или электронными регуляторами частоты вращения практически исчерпали резервы оптимизации параметров впрыскивания и не позволяют в полной мере выполнить современные требования, предъявляемые к технико-экономическим и экологическим показателям ДВС. Наиболее эффективно данная проблема решается путем электронного управления топливоподачей.

Широкое распространение в автотракторных и комбайновых дизелях получают аккумуляторные топливные системы с электронным управлением типа Common Rail (CR), позволяющие формировать требу-

емые характеристики впрыскивания топлива с максимальным давлением до 200...300 МПа. [13,15,16,17,18] Высокие давления впрыска обеспечивают качественное распыливание топлива и смешивание его с воздухом, полноту сгорания топливовоздушной смеси, экономичность и экологичность дизелей. Важным и дорогостоящим элементом этих систем являются электрогидравлические форсунки (ЭГФ), фактический ресурс которых в эксплуатации в силу различных причин значительно ниже заявляемого и его восстановление путем проведения ремонтно – обслуживающих воздействий является целесообразным, как с технической, так и с экономической точек зрения.

Проведенный анализ характерных неисправностей ЭГФ показывает что одним из наиболее изнашиваемых элементов ЭГФ является контактная поверхность седла шарикового электромагнитного клапана. При ее предельном износе недопустимо возрастает расход топлива на управление, в результате чего производительность ТНВД становится недостаточной для обеспечения нормативных значений мощности и крутящего момента дизеля.

По типовой технологии седло и другие детали форсунки заменяют на новые, однако стоимость такого ремонта в условиях РФ получается высокой и он применяется ограниченно, в основном в гарантийный период эксплуатации техники [12]. Для постгарантийной техники целесообразной, технически и экономически обоснованной является технология с восстановления макро и микро геометрии седла шарикового электромагнитного клапана притиранием на специальном стенде [1,2,3,4].

Недостатком этой технологии следует считать меньший, по сравнению с заменой седла на новое, ресурс работы этой детали (меньшая износостойкость). Опыт эксплуатации и диагностики таких форсунок показывает что их ресурс обычно равен 60% от ресурса новых [6,7,11]. Основными причинами этого являются микро и макрогеометрические отклонения поверхности и формы седла от оптимальных значений (повышенная шероховатость и отклонения формы от конусной) после притирания. Повышенная шероховатость и неконусность поверхности приводит к недостаточной гидроплотности клапана и повышенным протечкам топлива через него уже при проведении стендовых испытаний отремонтированных форсунок, и в процессе их дальнейшей эксплуатации. Большие давления (до 200МПа и более) и скорости потока топлива проходящего через неплотности вызывают в этих зонах седла местный, повышенный гидроабразивный износ, величина которого к моменту приработки шарика к седлу и образования кольца контакта с повышенной, вследствие наклепа, микротвердостью и меньшей шероховатостью, может оказаться больше полученной глубины кольца. В дальнейшем через эти зоны будет происходить постоянная протечка топлива и их прогрессирующий износ, определяющий ресурс работы

клапана и ЭГФ в целом. В связи с вышеизложенным научные исследования и опытно-конструкторские работы направленные на устранение указанных недостатков представляются актуальными и практически значимыми.

Проведенный анализ позволил сформулировать цель данной работы – расчетно-экспериментальное обоснование способа повышения эффективности ремонта электрогидравлических форсунок автотракторных дизелей системы Common Rail

В соответствии с поставленной целью определены следующие задачи исследования:

- провести расчетно – теоретическое обоснование предлагаемого способа упрочнения седла шарикового электромагнитного клапана вибронаклепом;
- провести экспериментальные лабораторные и стендовые исследования предлагаемого способа упрочнения седла шарикового электромагнитного клапана вибронаклепом.

Методы и материалы

В теоретических исследованиях применены методы системного анализа и синтеза, использованы положения и законы кинематики и динамики. Экспериментальные исследования проводились в соответствии с стандартными и разработанными частными методиками, с использованием современных приборов и оборудования, в том числе с цифровой обработкой контролируемых сигналов.

Для проведения экспериментальных исследований использовался стенд для испытания электрогидравлических форсунок ЕС-1000 (рисунок 1а), электронный микроскоп Bresser Sience MPO-401 (рисунок 1б), стенд для притирки седла клапана ЭГФ (рисунок 1в), другие необходимые приспособления и оснастка.

Рисунок 2 – Стенд для испытаний ЭГФ ЕС-1000 а), электронный микроскоп Bresser Sience MPO-401 б), стенд для притирки седла клапана ЭГФ.

Результаты

Известны исследования повышения износостойкости притертого седла клапана ЭГФ, нанесением нитрид титана [1, 5], показывающие что его износостойкость с этим покрытием увеличивается. Среди недостатков такой технологии следует отметить сложность процесса нанесения покрытия и большую стоимость оборудования, а также то, что макрогеометрия рабочей зоны седла здесь не исправляется, при этом высокая твердость покрытия затрудняет последующую взаимоприработку шарика и седла в эксплуатации.

Также известны способы улучшения контактной поверхности седел клапанов пристукиванием, с применением внешних ударных механизмов и устройств [8,9], однако примеров их использования для седел ЭГФ не выявлено.

В связи с вышеизложенным рабочей гипотезой работы является предположение о эффективности проведения после притирки седла и сборки ЭГФ, дополнительной технологической операции – вибронаклепа рабочей зоны седла, путем создания соответствующих режимов ее работы – с минимальным давлением топлива на входе и в течении определенного времени. В

результате такого воздействия будет происходить взаимная приработка шарика и седла, с формированием уплотнительного пояса правильной кольцевой (по шарiku) формы, и с улучшением его микрогеометрии и износостойкости, вследствие протекания процесса наклепа поверхности.

Цель этой операции, как и например технологической обкатки ДВС и других агрегатов после их ремонта, – подготовка поверхностей подвижных сопряжений к восприятию эксплуатационных режимов работы (нагрузок, давлений, скоростей, температур и т.д.).

На рисунке 2 представлен узел электромагнитного шарикового клапана ЭГФ с расчетной схемой действия сил на шарик 1 в момент прижатия его к седлу 2.

При штатной работе ЭГФ в составе ДВС прижатие шарикового клапана 1 к седлу 2 обеспечивается пружиной 3, воздействующей на него через толкатель 4 и направляющую 5. В этом состоянии увеличивается давление топлива в камере управления форсунки 6 до величины входного давления (40...200 МПа), оно давит на поршень 7, а он на иглу, которая закрывает подачу топлива к отверстиям распылителя (на рисунке не показаны).

Рис. 2 – Схема действия сил на элементы электромагнитного шарикового клапана электрогидравлической форсунки: 1 – шарик; 2 – седло; 3 – пружина; 4 – толкатель; 5 – направляющая шарика; 6 – камера управления; 7 – поршень; 8 – обмотка электромагнита; 9 – сердечник электромагнита; 10 – якорь; 11 – дроссельное отверстие; 12 – полость шарикового клапана; 13 – штуцер слива

При подаче управляющего сигнала на обмотку электромагнита 8 возникающее магнитное поле притягивает к сердечнику 9 якорь 10 и связанный с ним толкатель 4, который перемещаясь вверх сжимает пружину 3 и освобождает шарик 1 с направляющей 5. Через дроссельное отверстие 11 топливо из камеры управления 6 поступает в полость шарикового клапана 12 и далее в линию слива к штуцеру 13. Давление в камере управления 6 падает, игла распылителя приподнимается и открывает подачу топлива к распылителю. Во время действия управляющего сигнала происходит впрыск топлива в цилиндр ДВС.

В предлагаемом способе упрочнения седла шарикового клапана вибронаклепом новая или отремонтированная форсунка устанавливается на стенд с минимальным давлением топлива на входе, поэтому игла распылителя не приподнимается и впрыска не происходит, при этом на обмотку электромагнита подаются управляющие импульсы и происходит периодическое перемещение якоря, толкателя и направляющей с шариком в пределах установленного рабочего хода Y . Исследуемый процесс вибронаклепа седла осуществляется при движении системы вниз.

Анализ сил действующих в системе электромагнитного шарикового клапана в этих условиях (рисунок 2) показывает, что на шарик действуют силы пружины клапана $F_{пр}$, сила тяжести (веса) подвижных элементов P_1 (якоря электромагнита $P_я$, толкателя $P_т$, направляющей шарика $P_н$, части веса пружины $2/3P_{пр}$), а также сила удара $F_{уд}$ порождаемая кинетической энергией кинематически связанных, движущихся поступательно масс клапана с конечной скоростью V_k перед контактом шарика с седлом. Силами трения и гидравлических сопротивлений можно пренебречь, вследствие смазки подвижных сопряжений топливом и его малого давления.

Движение якоря, толкателя и направляющей вниз начинается с момента снятия напряжения с обмотки электромагнита 8 за счет силы упругости сжатой пружины 3 и сил тяжести подвижных деталей.

Направим ось ординат Y вниз, по линии действия сил, и совместим ее начало с нижним концом пружины в исходном, сжатом состоянии, тогда уравнение движения системы в векторной форме будет иметь вид:

$$\vec{P}_1 + \vec{F}_{пр} = \sum m_i \cdot \vec{a} \quad (1)$$

где: $\vec{P}_1 = \vec{P}_я + \vec{P}_т + \vec{P}_н + 2/3\vec{P}_{пр}$; a – ускорение системы $м/с^2$; $\sum m_i$ – сумма всех

кинематически связанных, движущихся поступательно масс системы, кг.;

$$\sum m_i = m_я + m_т + m_н + 2/3m_{пр},$$

где: $m_я$, $m_т$, $m_{пр}$, $m_н$ соответственно массы якоря, толкателя, пружины и направляющей шарика, кг.

В скалярной форме уравнение 1 примет вид:

$$(m_яg + m_тg + m_нг + 2/3m_{пр}g) + (F_{прн} - ky) = (\sum m_i) \cdot a; \quad (2)$$

где $F_{прн}$ сила пружины в сжатом состоянии, Н (для форсунок мод. 0445110376 $F_{прн}=50Н$); k – жесткость пружины, Н/мм (для форсунок мод. 0445110376 $k=50Н/мм$); y – удлинение пружины при закрытии клапана (и перемещение остальных подвижных элементов системы), мм (для форсунок мод. 0445110376 $y=0,04мм$); g – ускорение свободного падения ($9,81м/с^2$); $(m_я + m_т + m_н + 2/3m_{пр})$ – масса подвижных элементов, кг (для форсунок мод. 0445110376 $(m_я + m_т + m_н + 2/3m_{пр})=10гр=0,01кг$)

Подставим в уравнение 2 известные значения составляющих:

$(0,01) \cdot 9,81 + (50 - 50 \cdot 0,00004) = 0,01 \cdot a$, и определим величину ускорения системы перед контактом шарика с седлом:

$$a = 0,0981 + (50 - 50 \cdot 0,00004) / 0,01 = 5009,61 м/с^2 \quad (3)$$

Ускорение системы в начале движения (при $y=0$) составляет $5009,61 м/с^2$, то есть отличается незначительно и можно принять постоянным его среднее значение $5009,7 м/с^2$, тогда время перемещения системы t из верхнего положения в нижнее определится по формуле:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot y}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,00004}{5009,7}} = 0,000125 с \quad (4)$$

Тогда конечная скорость равноускоренного движения системы без начальной скорости определится по формуле:

$$V_k = a \cdot t = 5009,7 \cdot 0,000125 = 0,63 м/с \quad (5)$$

Кинетическая энергия системы E_k в момент начала контакта шарика седлом определится по формуле:

$$E_k = \sum m_i V_k^2 / 2 = 0,01 \cdot 0,63^2 / 2 = 0,002 Дж \quad (6)$$

Количество движения системы (импульс тела):

$$\sum m_i \cdot V_k = 0,01 \cdot 0,63 = 0,0063 кг \cdot м/с \quad (7)$$

При ударе шарика о седло его силовое воздействие будет суммой силы пружины $F_{пр}$ и импульсной силы удара $F_{уд}$, действующей в течении короткого времени удара Δt

(импульса силы). Ее величина может быть определена по формуле:

$$F_{уд} = \sum m_i \cdot V_k / \Delta t \quad (8)$$

Например для времени удара $\Delta t = 0,0005$ с (0,5 мкс) величина силы удара составит

$$F_{уд} = \sum m_i \cdot V_k / \Delta t = 0,0063 / 0,0005 = 12,6 \text{ Н}$$

Суммарная сила удара будет равна:

$$\Sigma F = F_{пр} + F_{уд} = 50 + 12,6 = 62,6 \text{ Н} \quad (9)$$

Определим давление шарика $P_{ш}$ на формируемую поверхность запорного пояса площадью $S_{зп}$ седла клапана, образующуюся в конце процесса вибронаклепа. По полученным экспериментальным данным, после вибронаклепа седла форсунки модели 0445110376 на стенде ЕС-1000 в течении 60 минут, образуется равномерный кольцевой запорный пояс площадью $S_{зп} = 0,00000007 \text{ м}^2$, тогда величина давления на него определится по формуле:

$$P_{ш} = \Sigma F / S_{зп} = 62,6 / 0,00000007 = 894285714 \text{ Па} = 894,3 \text{ МПа}$$

Полученное значение давления, превышает микротвердость материала седла (650 МПа), что свидетельствует о возможности наклепа контактной поверхности и ее упрочнении. При дальнейшей работе ЭГФ в штатном режиме, вследствие противодействия топлива посадке шарика в седло сила

его удара и давление на контактную поверхность значительно, до 30% снижаются и процесс наклепа прекращается. Оптимальная, по форме шарика, геометрия и упрочненная наклепом контактная поверхность обеспечивают хорошую гидроплотность клапана и повышенный ресурс его работы. Экспериментальные образцы ЭГФ отремонтированные с использованием вибронаклепа контактной поверхности седла успешно проходят эксплуатационную проверку.

Выводы

Предложен и исследован способ упрочнения седла шарикового клапана после его ремонта вибронаклепом контактной поверхности. Вибронаклеп осуществляется путем импульсной работы приводного электромагнита клапана в течении определенного времени и при минимальном давлении топлива в камере управления ЭГФ. Проведенное теоретическое и расчетно-экспериментальное обоснование процесса вибронаклепа седла шарикового электромагнитного клапана подтвердило рабочую гипотезу о возможности формирования упрочненной вибронаклепом контактной поверхности клапана с оптимальной, по форме шарика, геометрией. Применение предлагаемого способа позволит увеличить ресурс отремонтированных форсунок, при небольших затратах на его реализацию.

Литература

1. Габитов, И.И., Сайфуллин Р.Н., Валиев А.Р. Упрочнение клапанных узлов электрогидравлических форсунок дизелей при ремонте. Упрочняющие технологии и покрытия, 2017, №7, с. 328–335.
2. Габитов, И. И., Валиев А.Р., Вахитов Р.А. Анализ неисправностей электрогидравлических форсунок типа Common Rail. Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 11. – С. 41–43.
3. Вахитов, Р.А. Совершенствование технического обслуживания и ремонта форсунок топливных систем Common Rail автотракторных и комбайновых дизелей: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук. Уфа, 2013, 16 с.
4. Валиев, А.Р. Повышение эффективности ремонта электрогидравлических форсунок аккумуляторных топливных систем автотракторных дизелей: автореф. дис. канд. с.-х. наук. Уфа, 2012, 16 с.
5. Тимохин, С.В., Богатырев П.В., Пеликов В.А. [и др.] Разработка технологий и средств ремонта и испытаний электроуправляемых форсунок типа COMMON RAIL. Сборник статей III Международной научно-практической конференции: «Эксплуатация автотракторной и сельскохозяйственной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы». Пенза: РИО ПГАУ, 2017. С. 134-139.
6. Тимохин, С.В., Богатырев П.В., Пеликов В.А. [и др.] Анализ методов и средств диагностики системы питания дизелей типа COMMON RAIL. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Пенза: РИО ПГАУ, 2017. С. 26-28.
7. Сенин, П.В., Галин Д.А. Диагностика форсунок топливной системы Common Rail. Нива Поволжья. 2016. №4 (41), с. 113-120.
8. Машина для притирки клапанов пристукиванием, пневматическая [Электронный ресурс] <https://garagetools.ru/tovar/prisposoblenie-dlya-pritirki-klapanov-pnevmaticheskoe/> (дата обращения 05.09.2020).

9. А.с СССР №231345 МПК В24 15/08 Способ обработки контактной поверхности седла шарикового клапана. И. Н. Смирнов, В. И. Скрылев, Н. Н. Евграфов, Н. В. Зюзенко. Опубл. 15.11.1968. Бюл. № 35
10. Курманов, П.В. Совершенствование процесса топливоподачи аккумуляторной топливной системы транспортного дизеля путем повышения быстродействия электрогидравлической форсунки: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук. Москва, 2011, 20 с.
11. Bosch Dianostics Soft. ESI [tronic] Avtomobil'naya promyshlennost'. Diagnostika i tekhnika: A, C, D, E, F, K, M, P, W. - Robert Bosch GmbH. Avtozapchasti Bosch. D – 76225 Karlsrushe, 2005/1.
12. Sistema vpryska dizel'nogo topliva Common Rail: Tekhnicheskaya instruktsiya Bosch Robert Bosh, Bentley Publishers Bentley Pub, 1999 - 49 s.
13. Diesel Common Rail and Advanced Fuel Injection Systems. Philip J. G. Dingle, Ming-Chia Lai. Society of Automotive Engineers, Incorporated, 2005, – 137 p.
14. Diesel Emissions and Their Control. W. Addy Majewski, Magdi K. Khair. SAE International. 2006. –561p.
15. Diesel Engine Management: An Overview: Bosch Technical Instruction /Robert Bosch/ BENTLEY ROBERT Incorporated, 2003. –132p.
16. Diesel–Engine Management /Robert Bosch GmbH./ Robert Bosch GmbH, 2005. –490p.
17. Diesel fuel injection. /Ulrich Adler/ Robert Bosch GmbH, 1994. – 199p.
18. Diesel Fuel–Injection Systems Unit Injector System/Unit Pump System: Bosch Technical Instruction/ Robert Bosch. Bentley Pub, 2000. – 73p.
19. Electronic Diesel Control (EDC): Bosch Technical Instruction /Robert Bosch/ Bentley Pub, 2003.–95p.
20. Internal combustion engine fundamentals. /John B. Heywood/, McGraw–Hill, 1988.–930 p.

UDC 629.083

DOI 10.36461/NP.2020.57.4.005

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF A METHOD FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF REPAIR OF ELECTRIC HYDRAULIC NOZZLES OF AUTOMOTIVE DIESEL ENGINES

S.V. Timokhin, Doctor of Technical sciences, professor; P.V. Bogatyrev, engineer;

A.V. Polikanov, Candidate of Technical sciences, assistant-professor;

V.A. Machnev, Doctor of Technical sciences, professor

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Penza State Agrarian University", Penza, Russia, e-mail: timohinsv@gmail.com

The article deals with the issues of repair of electro-hydraulic nozzles (EHN), which are widespread in automotive and tractor diesel engines. The actual resource of the EHN is significantly lower than the declared one and its restoration by carrying out repair and maintenance operations is expedient, both from a technical and economic point of view. The analysis of typical EHN malfunctions shows that one of the most wear-out elements of EHN is the contact surface of the seat of a ball electromagnetic valve. Typical and alternative technologies for repairing a valve seat are considered and a method for improving them with a vibration hardening of the contact surface is proposed. The goal and objectives of research are formulated. The theoretical substantiation of the process of vibration hardening of the EHN ball valve seat and its laboratory and bench studies, the results of which confirmed the working hypothesis about the possibility of forming a vibration rivet hardened contact surface of the valve, were carried out. The application of the proposed method will increase the resource of the repaired injectors at low costs for its implementation.

Keywords: diesel, electro-hydraulic nozzle, control valve, contact surface, vibration rivet, electromagnet.

References

1. Gabitov I.I., Sayfullin R.N., Valiev A.R. Strengthening of valve assemblies of electro-hydraulic nozzles of diesel engines during the repair. Strengthening Technologies and Coatings, 2017, № 7, p. 328-335.

2. Gabitov I.I., Valiev A.R., Vakhitov R.A. Fault analysis of common rail electro-hydraulic injectors. *Tractors and Agricultural Machinery*, 2011, № 11, p. 41-43.
3. Vakhitov R.A. Improvement of maintenance and repair of Common Rail fuel system injectors of automotive and combine diesel engines: dissertation abstract for the degree of candidate of agricultural sciences. Ufa, 2013, 16 p.
4. Valiev A.R. Improving the efficiency of repairing electro-hydraulic nozzles of storage fuel systems of autotractor diesel engines: dissertation of the candidate of agricultural sciences. Ufa, 2012, 16 p.
5. Timokhin S.V., Bogatyrev P.V., Pelikov V.A. [et al.] Development of technologies and means of repair and testing of electrically controlled injectors of the COMMON RAIL type. Operation of Automotive and Agricultural Machinery: Experience, Problems, Innovations, Prospects: a collection of articles of the III International Scientific and Practical Conference. Penza: RIO PSAU, 2017, p. 134-139.
6. Timokhin S.V., Bogatyrev P.V., Pelikov V.A. [et al.] Analysis of methods and diagnostic tools for the power supply system of diesel engines of the COMMON RAIL type. Collection of Materials of the All-Russian Scientific-practical Conference of Young Scientists. Penza: RIO PSAU, 2017, p. 26-28.
7. Senin P.V., Galin D.A. Diagnostics of common rail fuel injectors. *Niva Povolzhya*, 2016, № 4 (41), p. 113-120.
8. Machine for lapping valves by tapping, pneumatic [Electronic resource] <https://garagetools.ru/tovar/prisposoblenie-dlya-pritirki-klapanov-pnevmaticheskoe/> (date of treatment 09/05/2020).
9. A.S. USSR № 231345 IPC B24 15/08 Method of processing the contact surface of the ball valve seat. I. H. Smirnov, V. I. Skrylev, H. N. Evgrafov, N. V. Zyuzenko. Publ. 11/15/1968. Bul. № 35.
10. Kurmanov P.V. Improvement of the process of fuel supply of the storage fuel system of a transport diesel engine by increasing the speed of the electro-hydraulic nozzle: dissertation abstract for the degree of candidate of agricultural sciences. Moscow, 2011, 20 p.
11. Bosch Diagnostics Soft. ESI [tronic] *Avtomobil'naya promyshlennost'*. Diagnostika i tekhnika: A, C, D, E, F, K, M, P, W. Robert Bosch GmbH. Avtozapchasti Bosch. D – 76225 Karlsruhe, 2005/1.
12. Diesel Accumulator Fuel – Injection System Common Rail: Bosch Technical Instruction Robert Bosch, Bentley PublishersBentley Pub, 1999, 49 p.
13. Diesel Common Rail and Advanced Fuel Injection Systems. Philip J. G. Dingle, Ming–Chia Lai. Society of Automotive Engineers, Incorporated, 2005, 137 p.
14. Diesel Emissions and Their Control. W. Addy Majewski, Magdi K. Khair. SAE International. 2006, 561 p.
15. Robert Bosch. Diesel Engine Management: An Overview: Bosch Technical Instruction. BENTLEY ROBERT Incorporated, 2003, 32p.
16. Robert Bosch GmbH. Diesel–Engine Management, 2005, 490 p.
17. Ulrich Adler Diesel fuel injection. Robert Bosch GmbH, 1994, 199 p.
18. Diesel Fuel–Injection Systems Unit Injector System. Unit Pump System: Bosch Technical Instruction. Robert Bosch. Bentley Pub, 2000, 73p.
19. Robert Bosch Electronic Diesel Control (EDC): Bosch Technical Instruction. Bentley Pub, 2003, 95 p.
20. John B. Heywood. Internal combustion engine fundamentals. McGraw–Hill, 1988, 930 p.