



Министерство образования и науки Российской Федерации

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)

**ИНСТИТУТ НЕЗАВИСИМОЙ АВТОТЕХНИЧЕСКОЙ  
ЭКСПЕРТИЗЫ (ИНАЭ-МАДИ)**

Адрес: 125319, Москва, Ленинградский проспект, д. 64, ауд. 540

Телефон/факс: 8 (499) 155-89-38

e-mail: [laromadi@ya.ru](mailto:laromadi@ya.ru)

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТА №М404715  
о причине выхода из строя топливных форсунок автомобиля FAW,  
модель 4250**

**Начало производства исследования:** 08.09.2015 года.

**Окончание производства исследования:** 08.10.2015 года.

**Место составления:** г. Москва, ИНАЭ-МАДИ.

**ВВОДНАЯ ЧАСТЬ**

**Основание для проведения исследования:** договор №М404715 от «08» сентября 2015 года. Заказчик: ООО «ФАВ - Восточная Европа».

**Для проведения исследования назначен:**

Малахов Александр Юрьевич – образование высшее, инженер-конструктор по специальности "190203", окончил конструкторско-механический факультет Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), диплом о высшем образовании: ВСГ 5438454 (МАДИ), заведующий лабораторией кафедры "Теория конструкционных материалов» МАДИ. Окончил аспирантуру по специальности 05.16.09 - "Материаловедение (машиностроение)" на базе конструкторско-механического факультета МАДИ. Имеет сертификат автотехнического эксперта по специальности 13.2 (регистр МАДИ № 01.000148) «Исследование технического состояния транспортных средств», стаж экспертной работы более 5 лет.

**Вопросы, поставленные перед специалистом:**

1. В чём причина выхода из строя топливных форсунок?
2. Данная причина носит эксплуатационный, производственный, конструктивный или иной характер?

### **Объекты исследования и материалы:**

1. Топливные форсунки – 3 шт.
2. Техническое задание к договору №М404715 от «08» сентября 2015 года.

### **Литература:**

1. Основы конструкции автомобиля. Учебник для вузов. /Иванов А.М., Солнцев А.Н., Гаевский В.В. и др. – М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2007, - 336 с.: ил.
2. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов по специальности "Автомобили и автомобильное хозяйство" Литвинов А. С; Фаробин Я. Е. - М.: Машиностроение, 1989. - 240 с.
3. Техническая эксплуатация автомобилей. Учебник для вузов 4-е изд. перераб. и дополн. / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. – М.: Наука, 2001. – 535 с.
4. Справочник специалиста по ремонту автомобилей Васильев Б.С. Издатель: Академкнига ISBN: 978-5-94628-226-0, 439 с.
5. Исследование недостатков легковых автомобилей находящихся в эксплуатации, (Методическое руководство экспертов и судей). Одобрено научно-методическим Советом РФЦСЭ при Минюсте России. Москва 2006 г.
6. Автомобильный справочник Bosch. Первое издание. Перевод с англ. «За рулем», 2000, 896 с. Гаркунов Д.Н. Триботехника. – Машиностроение, 1985.- 424 с.
7. Топливные системы и экономичность дизелей / И. В. Астахов, Л. Н. Голубков, В. И. Трусов и др. — М.: Машиностроение, 1990. — 288 с: ил.
8. Луканин В.Н., Морозов К.А., Хачиян А.С. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 книгах. Книга 1. Теория рабочих процессов. Учебник для вузов - 3 изд.: Высшая школа. 2007.
9. Справочник: топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. Под редакцией В.М. Школьников, М., Техинформ, 1999.
10. Учебное пособие «Электронное управление дизельными двигателя. Дизельные аккумуляторные топливные системы Common Rail». Robert Bosch/ ЗАО «Легион-Автодата», перевод на русский язык, 2005, 2008.
11. Топливная аппаратура и системы управления дизелей. Л.В.Грехов, Н.А. Иващенко, В.А.Марков. Москва. «Легион-Автодата» 2005г – 344с.
12. ГОСТ Р ИСО 5492-2005 Органолептический анализ. Словарь.
13. ГОСТ 20911. Техническая диагностика. Термины и определения.

14. ГОСТ Р 52368-2005 Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. Издательство Стандартов Москва.

15. ГОСТ 27.002-89 «Детальная классификация состояний транспортных средств».

16. Топливо дизельное экологически чистое ТУ 38.1011348-03.

### Термины:

**Дефект** - это каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям. Может включать в себя и повреждение, и отказ.

**Неустраняемый дефект** - это дефект, устранение которого технически невозможно или экономически нецелесообразно.

**Конструктивный дефект** - это дефект, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования или конструирования автомобиля.

**Производственный (технологический) дефект** - это дефект, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта автомобиля.

**Скрытый дефект** товара (автомобиля) — **дефект**, для обнаружения которого в нормативной документации, обязательной для данного вида контроля, не предусмотрены соответствующие правила, методы и средства.

**Эксплуатационный дефект** - это дефект, возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации автомобилей.

**Работоспособное состояние** - состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

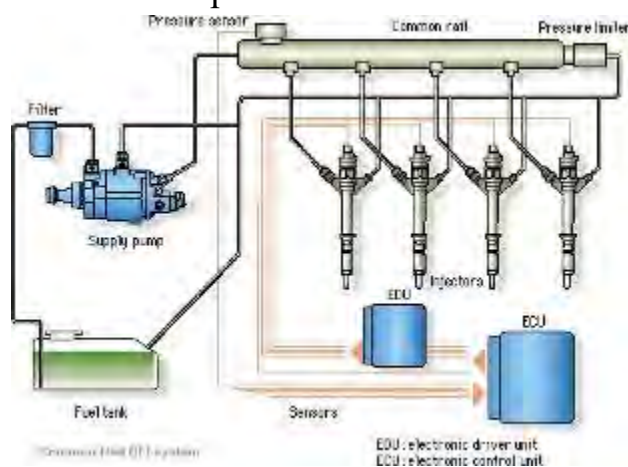
**Неработоспособное состояние** - состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

**Неисправное состояние (неисправность)** - состояние изделия, при котором оно не соответствует хотя бы одному из требований нормативной технической и (или) конструкторской документации.

**Восстановленный объект** - объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

## Общие сведения

В настоящее время вместо механических ТНВД дизельных двигателей широко используются новые ТНВД с системой Common Rail и с электронным управлением форсунками. У системы Common Rail есть важное преимущество - точность подачи топлива в определенный бортовым компьютером момент. Система Common Rail обеспечивает экономию топлива за счет повышенного (по сравнению со "старыми" системами) давления топлива и, значит, более тонкого распыла топлива в камере сгорания. Использование технологии Common Rail позволяет увеличить мощность двигателя и уменьшить выброс вредных веществ в атмосферу. Принципиальное устройство системы подачи топлива в двигатель показано на рис.1.



### Обозначения:

- Common Rail: "общий аккумулятор".
- Supply pump – топливный насос
- Common Rail – топливная «рейка», которая служит аккумулятором топлива.
- Injector– электро-гидро-механическая форсунка
- ECU – блок управления (ECU)
- Fuel tank – топливный бак
- Pressure sensor– клапан давления
- Filter – топливный фильтр
- Pressure limiter – ограничитель давления топлива

Рис. 1. Схема принципиального устройства топливо подачи Common Rail.

## Топливные форсунки BOSCH

Топливные форсунки высокого давления бывают различных типов и главным образом различаются по механизму их управления:

1. Механические насос-форсунки.
2. Электромагнитные форсунки.
3. Пьезоэлектрические форсунки.

На исследование представлены электромагнитные топливные форсунки высокого давления.

На рисунке 2 для примера показана схема аналогично работающей электромагнитной форсунки.

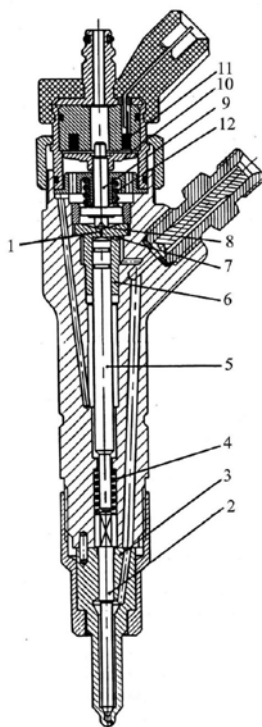


Рис 2. Разрез электрогидравлической форсунки фирмы BOSCH:  
1 – отводящий дроссель; 2 – игла; 3 – распылитель; 4 – пружина запираия иглы; 5 – поршень управляющего клапана; 6 – втулка поршня; 7 – подводящий дроссель; 8 – шариковый управляющий клапан; 9 – шток; 10 – якорь; 11 – электромагнит; 12 – пружина клапана

Электромагнитная форсунка фирмы «BOSCH» состоит из:

- электромагнита 11
- якоря электромагнита 10
- маленького шарикового управляющего клапана 8
- запорной иглы 2
- распылителя 3
- поршня управляющего клапана 5
- подпружиненного штока 9.

Шарик клапана прижимается к седлу с усилием пружины и электромагнита. Сила пружины рассчитана на давление значительно ниже давления в линии высокого давления, поэтому только при приложении усилия электромагнита шариковый клапан не отойдет от седла, отделяя аккумулятор от линии слива. Игла распылителя форсунки в нерабочем состоянии прижимается к седлу пружиной распылителя – это предотвращает попадание воздуха в форсунку при пуске двигателя.

При создании давления в аккумуляторе, оно действует как на конусную поверхность иглы, так и на поршень управляющего клапана 5. Поскольку площадь рабочей поверхности поршня на 50% больше площади конусной поверхности иглы, игла распылителя продолжает прижиматься к седлу.

При подаче напряжения от блока управления на электромагнит 11, шток 9 якоря штока поднимается и открывается шариковый управляющий клапан 8. Давление в камере управления 7 падает в результате открытия дроссельного отверстия и топливо пропускается из зоны над поршнем управляющего клапана в зону слива. Давление на поршень управляющего клапана падает, так как подводящее дроссельное отверстие управляющего клапана имеет меньшее сечение чем отводящее. Запорная игла 2 при этом под действием высокого давления в кармане распылителя 3 открывается. Количество подаваемого топлива зависит от времени подачи напряжения в электромагнит 11, а значит от времени открытия шарикового управляющего клапана 8. При прекращении подачи напряжения на электромагнит 11, якорь под действием пружины опускается вниз, при этом шариковый управляющий клапан закрывается, давление в камере управления восстанавливается через специальный жиклер. Под действием давления топлива на поршень управляющего клапана 5, имеющего диаметр больше диаметра иглы, последняя закрывается.

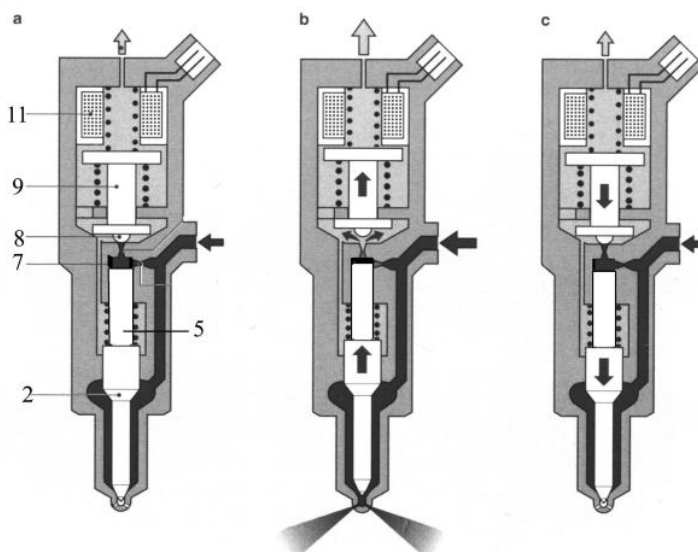


Рис. 3. Принцип действия электрогидравлической форсунки:

а – форсунка в закрытом состоянии; б – форсунка в открытом состоянии; в – фаза закрытия форсунки

### **В процессе осмотра и исследования были применены:**

1. Фотокамера цифровая «Canon Power Shot S5IS» №375547030.
2. Цветная контрольная шкала «ЦШ-1».
3. Лупа увеличительная с пределом увеличения 5х, диаметром линзы 80 мм.
4. Цифровой микроскоп USB «Микрон-400», 25х - 400х, производство «Китай».
5. Биноклярным микроскопом МБС-10, 3,5х - 98х.
6. Микротвердомер ПМТ-3 с нагрузкой 0,05 Н (50г). Стандарт измерения твердости по Виккерсу ISO 6507-1 2007. Торировка прибора производилась по соответствующим мерам твердости МТР-1 ГОСТ 9031-75 .

### **Методики проведения исследований:**

1. Органолептический и инструментальный метод.
2. Методика исследования металлов.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ**

В процессе исследования были произведены следующие работы:

1. Диагностика топливных форсунок на диагностическом стенде HARTRIGE испытательной лаборатории ООО «Дигитал Дизель».
2. Органолептическое исследование топливных форсунок и их деталей.
3. Инструментальный метод исследования деталей форсунок с использованием цифрового микроскопа USB «Микрон-400» и биноклярного микроскопа МБС-10.
4. Измерение твёрдости поверхности деталей топливных форсунок на микротвёрдомере ПМТ-3 с нагрузкой 0,05 Н (50г).

Осмотр и исследование топливных форсунок проводился специалистом Малаховым А.Ю. в помещении лаборатории ИНАЭ-МАДИ по адресу: г. Москва, Ленинградский пр-кт, д. 64, при искусственном освещении. Освещение достаточное.

Топливные форсунки доставлены на исследование в ИНАЭ-МАДИ представителем ООО «ФАВ - Восточная Европа» в неопечатанном целлофановом пакете. Попадания воды в целлофановый пакет с форсунками не установлено.

На исследование представлены топливные форсунки фирмы «BOSCH» – 3 шт. Внешний вид форсунок показан на фото 1.



Фото 1. Представленные на исследование топливные форсунки. Внешний вид.

Внешних повреждений корпуса топливных форсунок не установлено.

Распылители форсунок чистые, не повреждённые. Сопла форсунок также чистые. Смолистых отложений на элементах распылителя форсунок не обнаружено.

На корпусе топливных форсунок имеются идентификационные номера (см. фото 2).

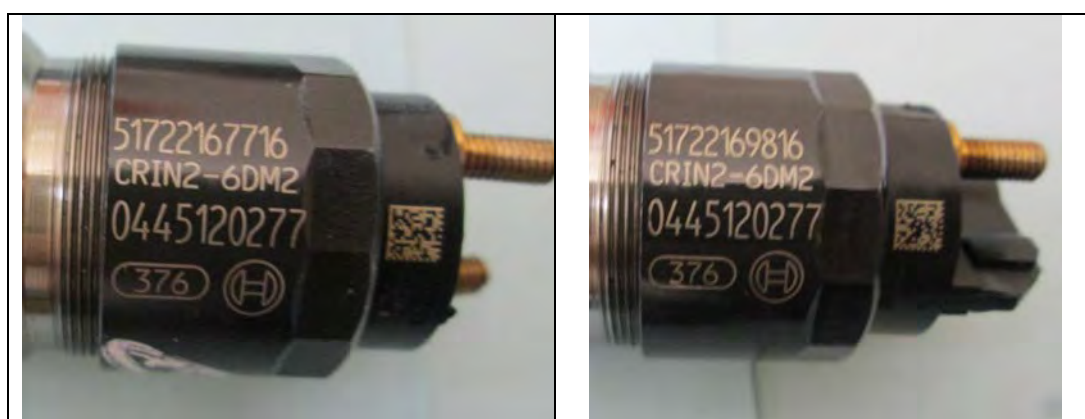






Фото 2. Идентификационные обозначения на корпусе форсунок, представленных на исследование.

Проверка работоспособности топливных форсунок проводилась в испытательной лаборатории по проверке дизельных топливных форсунок ООО «Дигитал Дизель» на диагностическом стенде HARTRIGE.

Диагностическая карта представлена на фото 3. На фото 4 представлены рекомендации по ремонту специалистов ООО «Дигитал Дизель».

**Карта диагностики форсунок**  
к Заказ-наряду №5 089 от 21.09.2015

---

Заказчик: Малахов Александр Юрьевич  
АДРЕС: 125319, Москва г, Кочневский проезд, дом № 7, корпус 2, кв.906  
КОНТ. ТЕЛ.: +7 916 123 33 09

---

Собственник: \_\_\_\_\_  
Представитель: \_\_\_\_\_  
Мастер-приемщик: Смирнов Станислав Борисович  
КОНТ. ТЕЛ.: \_\_\_\_\_  
КОНТ. ТЕЛ.: \_\_\_\_\_

---

Насос: \_\_\_\_\_  
МОДЕЛЬ: \_\_\_\_\_  
СЕР.№ \_\_\_\_\_  
КАТ.№ \_\_\_\_\_  
ИЗГОТОВИТЕЛЬ: \_\_\_\_\_  
ДАТА ИЗГОТОВЛ.: \_\_\_\_\_  
НОМЕРА ФОРСУНОК: 0445120277-3 шт

Форсунка

	Распыл	Р открытия	Гидроплотность	Оценка 1-5, комментарий
F1	V	125	1,2	1638
F2	V	125	0	1698
F3	V	125	0	1677

---

Информация по ремонту

Замена в сборе	Срок поставки, наличие

Фото 3. Диагностическая карта испытаний топливных форсунок.

Рекомендации заказчику  
Замена форсунок. Проверка остальных форсунок. Промывка топливной системы. Замена топливного фильтра.

---

Примечание

---

Вышеперечисленные услуги выполнены полностью и в срок. Заказчик претензий по объему, качеству и срокам оказания услуг не имеет.

ДАТА: \_\_\_\_\_  
 МАСТЕР: \_\_\_\_\_  
 ЗАКАЗЧИК: \_\_\_\_\_ Малахов Александр Юрьевич

---

Гарантия на ремонт ТНВД - 6 мес., остальные виды работ - 1 мес.

Фото 4. Рекомендации по ремонту топливных форсунок.

Испытания показали низкую (менее 1,5) гидроплотность всех исследуемых топливных форсунок.

Гидроплотность характеризует величину утечек топлива через необходимые конструктивные зазоры в плунжерной паре, распылителе и запорном элементе клапана. Объем утечек зависит от величины зазоров (износа), от давления топлива и от времени воздействия этого давления, т.е. от частоты вращения.

В наибольшей степени износу подвержены запорные кромки клапана, т.к. во время коммутаций между ними протекает топливо с огромной скоростью, вызывая гидроабразивный износ. В наименьшей степени изнашивается плунжерная пара.

С целью исследования причин низкой гидроплотности топливные форсунки были разобраны (см. фото 5).



Фото 5. Топливные форсунки в разобранном виде.

Посадочное седло и запорный клапан топливных форсунок был детально исследовано под микроскопом USB «Микрон-400».

Наиболее частая причина выхода из строя дизельных форсунок – износ посадочного места клапана и его запорного элемента.

Управляющий механизм клапана форсунки состоит из запорного элемента (шарика), устанавливаемого в корпусе форсунок, штока клапана, упорной втулки и тарелки клапана (см. фото 6).



Фото 6. Управляющий клапан с электромагнитной катушкой.

У всех форсунок установлен износ (выработка, каверны) посадочного места конуса клапана в корпусе (см. фото 7).

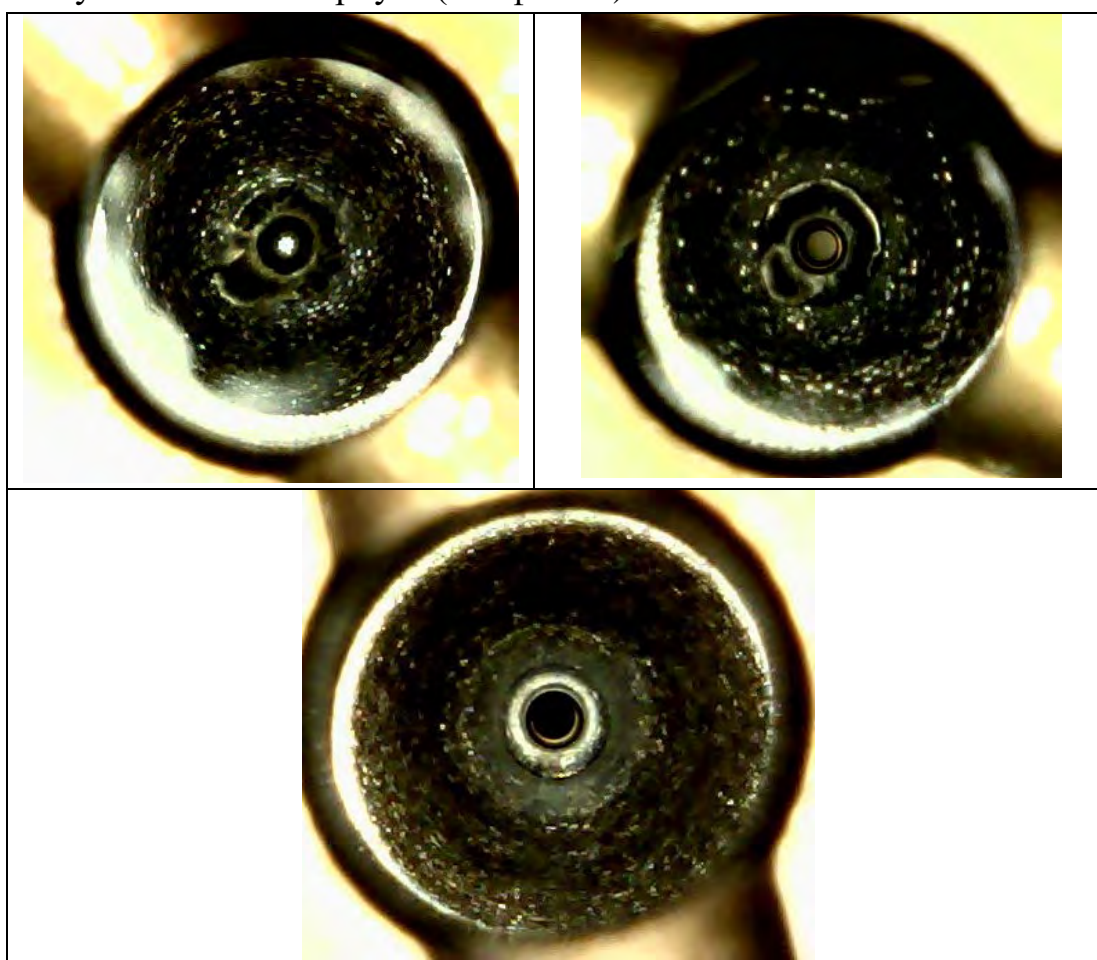


Фото 7. Посадочное место перепускного клапана исследуемых форсунок.  
(Под микроскопом USB «Микрон-400»).

У всех форсунок установлены повреждения (выработка, пластическая деформация) запорного шарика (см. фото 8).

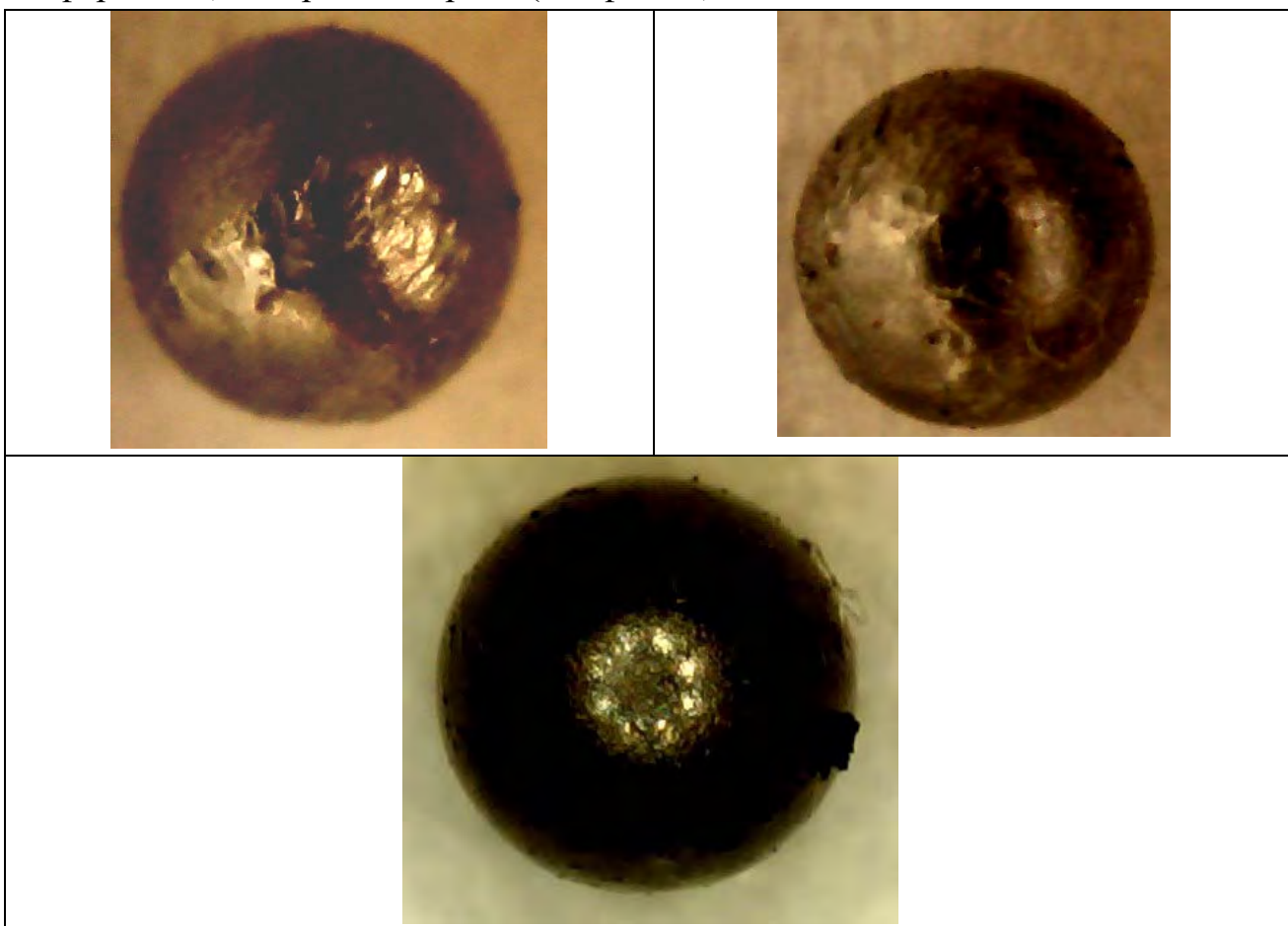
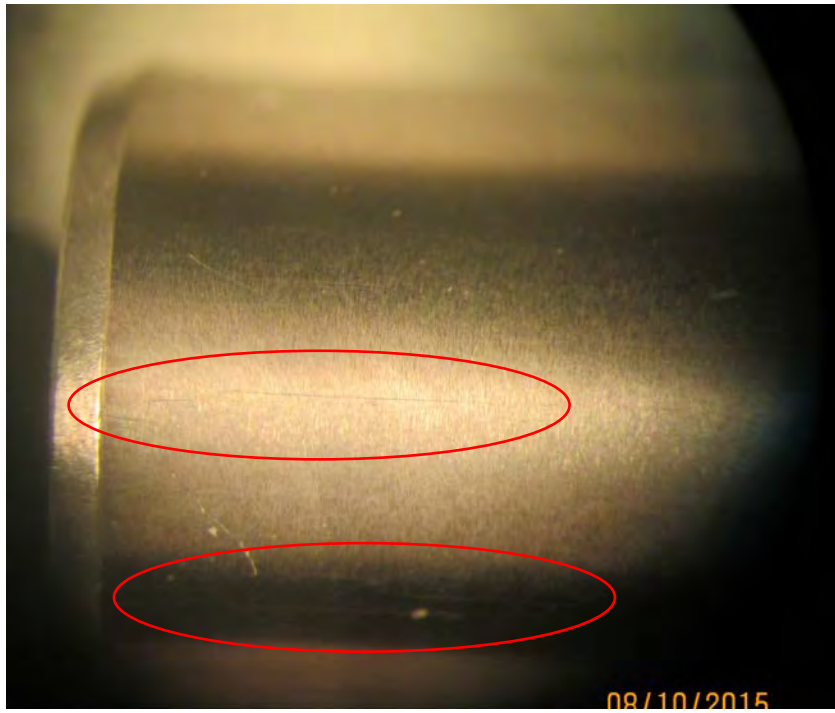


Фото 8. Запорный шарик перепускного клапана исследуемых форсунок (Под микроскопом USB «Микрон-400»).

Износы данных поверхностей связаны с попаданием под клапан механических примесей содержащихся в дизельном топливе поступающим в магистрали форсунок и зачастую связано с использованием дизельного топлива несоответствующего качества (износом трущихся поверхностей ТНВД).

Износ запорных поверхностей перепускного клапана приводит к потере герметичности (гидроплотности) форсунок и их выходу из строя.

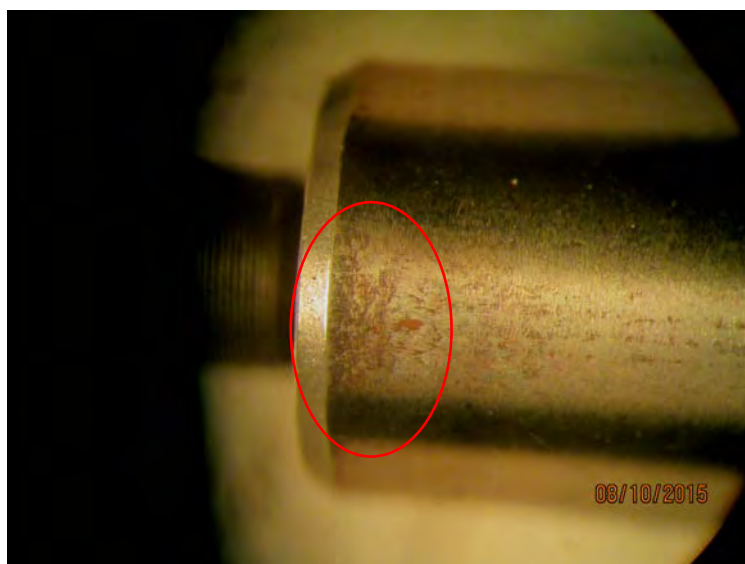
Детально под микроскопом были изучены также поверхности штока клапана форсунок. Установлены множественные повреждения поверхности штоков форсунок в виде царапин, выработки, износа и термического повреждения (см. фото 9).



a)



b)



в)

Фото 9 (а,б,в). Шток клапана форсунки  
(Под микроскопом USB «Микрон-400»).

Детали топливной форсунки изготавливаются прецизионно точно.

Определение "прецизионный" говорит о том, что детали распылителя - игла и корпус изготовлены с высочайшей точностью:

- зазор между иглой и корпусом составляет, в зависимости от типа распылителя, от 0,002 мм до 0,004 мм;

- отклонения формы иглы и внутренних поверхностей корпуса распылителя менее 0,001 мм.

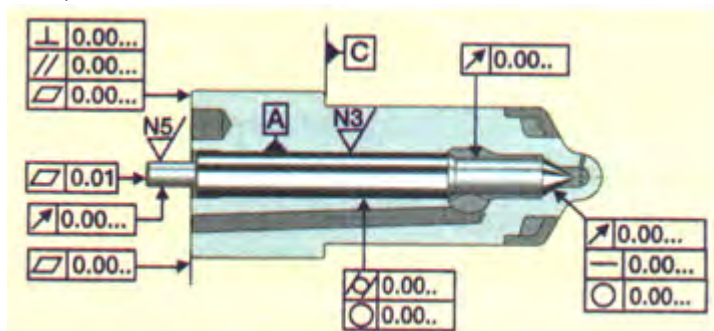


Рис. 4. Распылитель и его игла прецизионно точная пара деталей.

Точность изготовления деталей - отклонения формы и положения, измеряемые в микронах.

В связи с такой точностью изготовления любое нарушение в работе топливной форсунки, в частности, попадания в полости форсунок механических примесей, вызовет перекос прецизионных поверхностей и из повреждения.

Имеющиеся неисправности топливных форсунок связаны с механическими микрповреждениями поверхности их деталей. Характер неисправностей эксплуатационный. Причина возникновения связана с работой на топливе, содержащем механические примеси.

### *Измерение твердости*

С целью проверки материала, из которого изготовлен шток клапана и запорный шарик клапана, подверженные интенсивному износу и повреждению, проведены исследования твердости материала.

Измерение твердости проводилось на микротвердомере ПМТ-3 с нагрузкой 0,05 Н (50г) (см. фото 10).



Фото 10. Измерение твердости на микротвердомере ПМТ-3.

Результаты измерения:

- HV поверхности шарика - 986, что соответствует - 66 ...68 HRC;
- HV поверхности штока - 824, что соответствует - 60 ...62 HRC.

Данная твердость поверхности запорного шарика и штока клапана соответствует требуемой твердости материала для данного типа деталей, работающих в условиях интенсивного износа.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ:**

1. Причина выхода из строя топливных форсунок – потеря их гидроплотности вследствие микрповреждений поверхностей деталей управляющего клапана.

2. Выявленные повреждения носят эксплуатационный характер. Причина возникновения связана с работой форсунок на топливе, содержащем механические примеси.

Специалист \_\_\_\_\_ Малахов А.Ю.