

Приборы диагностирования технического состояния главных передач и межколесных дифференциалов автомобилей

12, декабрь 2016

Бутарович Д. О.^{1,*}, Вахитов А. Р.²

УДК: 62-791.2

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

²Россия, НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана

[*buta73@mail.ru](mailto:buta73@mail.ru)

Введение

В настоящее время в условиях конкуренции между производителями коммерческих автомобилей одним из основных параметров, определяющих выбор покупателя является стоимость владения транспортным средством. Одновременно с этим технический уровень автомобильной техники постоянно повышается, что усложняет методику их технического обслуживания: отыскания неисправности, прогнозирование даты выполнения сервисных работ. Сегодня традиционный метод оценки технического состояния агрегата: разборка с последующим визуальным контролем является дорогостоящим, а также приводит к снижению ресурса агрегата. В целях снижения стоимости владения производители всё чаще применяют в конструкции датчиковую аппаратуру, которая позволяет оценивать текущее техническое состояние узла, агрегата, технических жидкостей.

Современные иностранные автомобили имеют «плавающий» сервисный интервал между очередным техническим обслуживанием. Это позволяет снизить стоимость владения, а также повысить ресурс основных агрегатов автомобилей. Основными, наиболее нагруженными, агрегатами в автомобиле являются двигатель и трансмиссия. При их работе в сопрягаемых деталях происходит износ, нагрев, деформации. Для снижения тепловой напряженности и уменьшения износа используют смазочные материалы, которые по мере эксплуатации теряют свои свойства.

Для диагностирования узлов трансмиссии используют различное оборудование, с помощью которого оценивают состояние смазки, возникающие вибрации в деталях, температурный режим при работе узла. Имея методику оценки полученных результатов возможно определить место (деталь) и причину отказа.

Сегодня диагностика главных передач и межколесных дифференциалов ведущих мостов автомобилей в период эксплуатации возможно по следующим параметрам:

- уровень шумо- и виброакустических величин;
- изменение температурного режима работы;

- состояние работавшего смазочного материала;
- суммарный угловой зазор (люфт) в узлах главной передачи.

Перечень оборудования, необходимого для объективного определения указанных выше параметров позволяет выполнить комплексную диагностику ведущих мостов автомобилей

1. Беспроводной автомобильный стетоскоп

Уровень шумо- и виброакустических эффектов носит большую информативность о состоянии зубчатых передач, подшипников качения и скольжения, шлицевых соединений. Так, например, при несовмещении конусов конических зубчатых колес и нарушении пятна контакта зубья работают в режиме ударных нагрузок (удары в зубчатом зацеплении сопровождается характерным звуком), возникают большие контактные и изгибные напряжения, что приводит к снижению ресурса, а также к выходу из строя такой передачи. Данное явление сопровождается диссипацией полезной мощности в звуковую и тепловую энергию, вследствие чего возникает падение КПД передачи и моста в целом.

Беспроводной автомобильный стетоскоп (рис. 1) представляет собой универсальное устройство для определения различных шумов в редукторах, подшипниках и подвеске. При проведении дорожного испытания позволяет более точно выявить место возникновения неисправности. Использование прибора позволяет точно локализовать неисправность и значительно сократить время на ее поиск.



Рис. 1. Беспроводной автомобильный стетоскоп (комплект)

Беспроводные передатчики оснащены зажимами для фиксации. Местами для фиксации могут быть тормозные суппорты, ШРУСы, рессоры и пружины, корпуса дифференциалов, коробки передач. Все передатчики оснащены сверхчувствительными микрофонами.

2. Тепловизоры, термоиндикаторы, термокраски

Одно из важнейших требований к эксплуатации узла или агрегата – обеспечение заложенных при проектировании номинальных тепловых балансов. Известно, что недостаточный уровень масла или охлаждающей жидкости в агрегатах автомобиля, в том числе в картере редуктора ведущего моста приводит к тепловому дисбалансу и аномальному перегреву, что приводит к сокращению ресурса безотказной работы.

Для регистрации факта перегрева необходима разборка узла или агрегата и дефектация деталей с последующей оценкой изменения геометрии, цвета поверхностей, структуры поверхностей, констатация наличия лаковых отложений изменения структуры технических вставок (уплотнений, прокладок).

Использование при диагностировании простейших средств измерения температуры контактным или бесконтактным способом позволяет измерять ее значения на поверхностях конкретных деталей и в точках только в процессе проведения технического обслуживания.

Для контроля соблюдения правил эксплуатации дополнительно предлагается использовать тепловизоры и термоиндикаторы. Термоиндикатор представлен на рисунке 2. Пирометр и тепловизор представлены на рисунке 3.

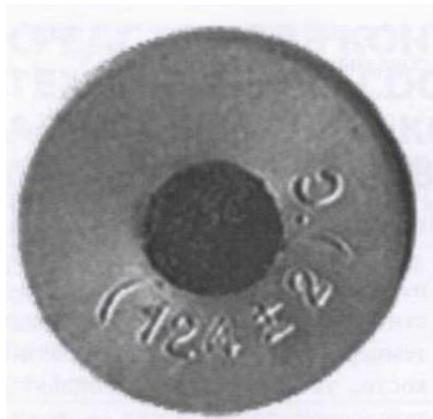


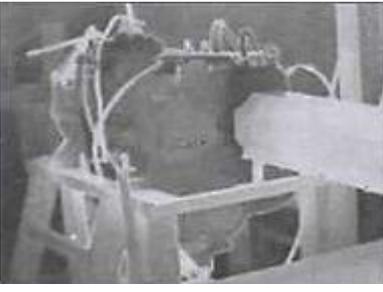
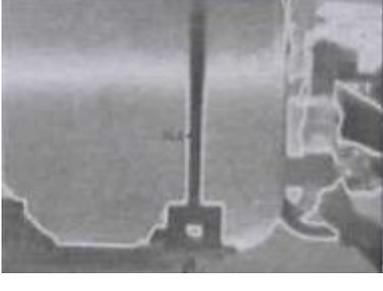
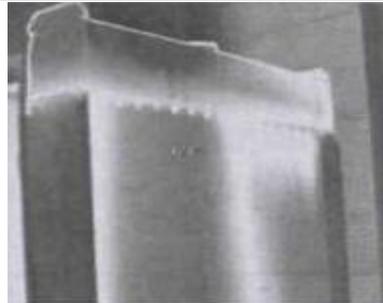
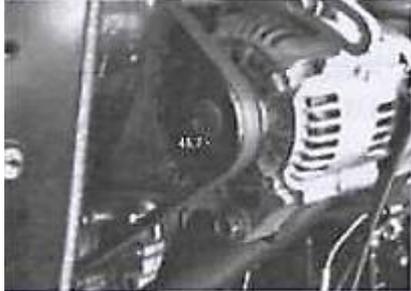
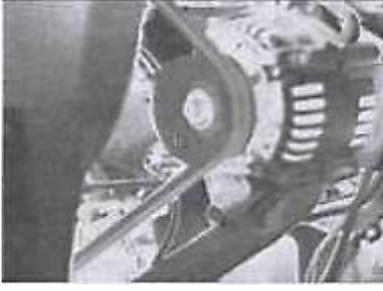
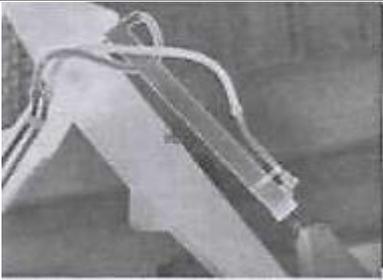
Рис. 2. Общий вид термоиндикатора



Рис. 3. Общий вид приборов для бесконтактного определения температуры поверхности:
а) пирометр; б) тепловизор

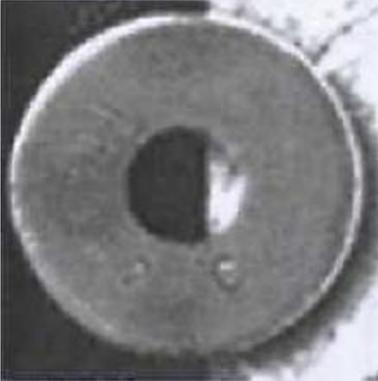
Тепловизор представляет собой переносной оптико-электронный прибор, позволяющий оценивать температурные поля по инфракрасному излучению поверхностей. Практическое применение тепловизора представлено в таблице 1.

Таблица 1. Практическое применение тепловизора

№п/п	Объект (фото)	Термограмма	
1			Утечка масла, повышенный нагрев подшипника первичного вала
2			Недостаточный объем заполнения гидробака рабочей жидкостью ведет к вспениванию, кавитации, перегреву гидроагрегатов
3			Неисправность трубок радиатора системы охлаждения дизеля
4			Сниженное натяжение ремня привода генератора
5			Внутренние утечки рабочей жидкости в гидроцилиндре

Термоиндикаторы – температурные пломбы, изготовленные из полимеров или металлов с известной температурой плавления, установка которых позволяет фиксировать температуру нагрева агрегатов и узлов в процессе эксплуатации. Пример оценки температуры поверхности представлен в таблице 2.

Таблица 2. Динамика изменения внешнего вида термоиндикатора при различной температуре

№ п/п	Внешний вид термоиндикатора	Температура, С°	Примечания
1		115	Нет изменений
2		119	Единичные точки расплавления металла в центре плавкой вставки
3		126	Процесс отторжения плавкой вставки окончен

Помимо термоиндикаторов возможно дополнительно использовать термохимические, термоиндикаторные краски имеющие свойства обратимо или необратимо менять свой цвет при заданном температурном диапазоне, а также термокарандаши, позволяющие определять степень нагрева агрегатов и узлов в температурном диапазоне от 40 до 1200 °С. В таблице 3 представлены характеристики термокрасок.

Таблица 3. Характеристики термокрасок

№ п/п	Марки краски	Температура перехода, °С	Цвет краски	
			исходный	После воздействия температуры
1	ТИК-32	95±5	светло-розовый	светло-синий
2	ТИК-240	250±15	бирюзовый	белый
3	240-260	240±2	сиреневый	коричневый
		260±2	сиреневый	черный
4	140-160	140-160	сиреневый	фиолетовый

3. Состояние смазочного материала

В редукторах ведущих мостов современных колесных машин преимущественно применяется картерный метод смазки. В качестве смазочного материала используются трансмиссионные масла. Процессу смазки подвергаются все трущиеся детали главной передачи – зубчатые колеса, подшипники и шлицевые соединения – с целью уменьшения трения, охлаждения, защиты от коррозии, предохранения от заеданий и удаления продуктов износа. Изнашивание боковой поверхности зуба в основном происходит при сухом и полусухом трении, обусловленном недостаточной несущей способностью масляной пленки, разрывами масляной пленки в местах контакта, отсутствием или временным прекращением поступления смазки, например, в момент начала движения автомобиля или его остановках. Интенсивный износ зубьев наблюдается при попадании в зацепление вместе со смазкой абразивных частиц, соизмеримых с толщиной масляного слоя. Деструктивный процесс смазки трущихся деталей приводит к повышенному нагреву элементов главной передачи приводит к снижению ее работоспособности из-за сопутствующих тепловых деформаций, нарушающих зацепление зубчатых передач и посадок деталей, изменяющих зазоры в зацеплении и в подшипниках. Кроме того, повышение температуры сопровождается снижением вязкости масла и, как следствие, уменьшением толщины масляной пленки и возникновением полусухого трения, способствующего появлению заедания. Также, при деструктивной смазке и охлаждении температура отдельных точек на поверхности зубьев может превысить температуру отпуска, что приводит к местному уменьшению твердости цементированного слоя и резкому снижению контактной прочности зубьев. Для обеспечения работоспособности механизмов трансмиссионные масла должны выполнять следующие функции:

- предотвращать износ поверхностей трения за счет образования стойкой масляной пленки между ними;
- снижать потери на трение в зубчатых зацеплениях;
- отводить тепло от поверхностей трения;
- удалять продукты износа из зон трения;
- защищать детали от коррозии;
- снижать ударные нагрузки на шестерни, вибрации и шум, уплотняя зазоры между поверхностями трения.

К трансмиссионным маслам предъявляют самые разнообразные эксплуатационные требования, подчас довольно противоречивые. Масла должны, с одной стороны, сохра-

нять высокую вязкость при рабочих температурах, чтобы не разрушалась пленка и нормально уплотнялись зазоры, с другой — не становятся слишком вязкими при низких температурах окружающей среды, чтобы в начале работы агрегата холодное масло не препятствовало свободному вращению зубчатых колес. Кроме того, масла должны обладать высокими антикоррозионными, антиокислительными, противокавитационными и другими свойствами, а также иметь высокую термоокислительную стабильность (длительная стабильность характеристик в рабочих условиях и при хранении) и не быть агрессивными по отношению к резиновым уплотнениям (не нарушать адгезии резинометаллических элементов главной передачи) и цветным металлам (например, антифрикционным бронзовым подшипникам скольжения).

Ключевую роль в формировании оптимального процесса смазки играет качество самого смазочного материала (трансмиссионного масла), причем не только свежего, но и работавшего. Анализ качества работавшего трансмиссионного масла может дать достаточно информативное представление о техническом состоянии деталей главной передачи.

В современной практике применяется метод экспресс-диагностирования работавшего трансмиссионного масла по следующим параметрам:

- падение вязкости;
- увеличение кислотного числа;
- наличие воды (свободной и связанной);
- содержание механических примесей (металлов износа, кремния и т. д.).

В настоящее время для определения качества работавшего масла в агрегатах трансмиссии обозначилась тенденция использования в сервисных технических центрах приборов экспресс-диагностирования, позволяющих количественно определить параметры состояния смазочного материала, и, соответственно, сделать объективный вывод о состоянии деталей главной передачи. При этом приборы экспресс-диагностирования не должны требовать профильных знаний у персонала сервисного технического центра. Понятно желание сервисных технических центров использовать такие приборы. Полноценная оценка качества смазочного материала требует приобретения дорогостоящего лабораторного оборудования и наличия компетентного персонала. Эффективность таких приборов пока носит субъективный характер. Ниже описаны некоторые из них.

Диагностическое устройство «Маслотестер» позволяет определить работоспособность работающего масла и оценить целесообразность его замены, наличие неисправностей в двигателе и агрегатах трансмиссии автомобиля, в системе охлаждения, в системе смазки, в системе фильтрации и подачи воздуха на смешение с топливом и других механизмах и представляет собой малогабаритный прибор.

Комплект «Маслотестер (автоматизированный вариант)» и комплект «Анализатор нефтепродуктов», предназначены для оценки состояния смазочного материала по экспресс-показателям:

- вязкость
- плотность

- наличие частиц износа
- коррозионная активность
- моюще-диспергирующие свойства
- прокачиваемость
- вязкостно-температурный показатель
- низкотемпературная вязкость (прокачиваемость)
- плотность
- капельная проба

Комплект «Маслотестер (автоматизированный вариант)» представляет собой прибор, снабженный электронным термометром и магнитом-сборником продуктов износа. Данный прибор представлен на рисунке 4.

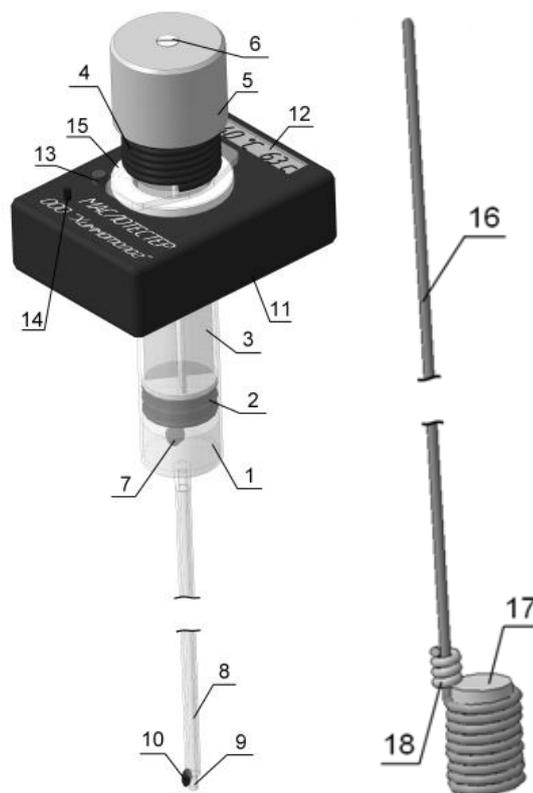


Рис. 4. Прибор для определения вязкости смазочного материала «Маслотестер»: 1 – цилиндрическая емкость; 2 – резиновый поршень; 3 – шток; 4 – пружина; 5 – крышка; 6 – винт; 7 – поплавок; 8 – внешняя трубка; 9 – внутренняя трубка; 10 – термомпара; 11 – измерительный блок; 12 – дисплей; 13 – кнопка включения/выключения; 14 – кнопка сброса времени; 15 – шайба; 16 – шомпол; 17 – магнит; 18 – медная проволока.

Комплект «Анализатор нефтепродуктов» представляет собой прибор для определения наличия воды и механических примесей, природу базового масла (синтетического, минерального и полусинтетического), основанный на определении диэлектрической проницаемости смазочного материала. Прибор предназначен для экспресс-диагностики чистоты

топлива и масел (бензин, дизельное топливо, моторные, гидравлические и трансмиссионные масла) машин, автомобилей путем измерения процентного содержания воды и механических примесей в нем.

Комплект «Анализатор нефтепродуктов» представлен на рисунке 5. Зная диэлектрическую проницаемость свежего масла, можно определить ресурс работающего масла, степень его окисления и загрязнения.



Рис. 5. Комплект «анализатор нефтепродуктов»

Диагностическое устройство «Мультимаслотестер» выполнено в виде измерительного блока с дисплеем, кнопками управления и выходящей трубкой для отбора нефтепродукта.

В основе измерения вязкости лежит определение времени заполнения определенного объема продуктом, проходящим через тонкую трубку. Определение содержания железных частиц производится с использованием датчика Холла. Определение содержания воды осуществляется по изменению диэлектрической проницаемости загрязненного продукта по сравнению с чистым (рис. 6).



Рис. 6. Мультимаслотестер

Также в последнее время широкое применение находят электронные датчики оценки качества (состояния) работавшего смазочного материала.

Датчик состояния смазочного материала (далее по тексту – датчик деградации) служит для контроля качества масла в редукторе ведущего моста и других агрегатах трансмиссии. Информация о состоянии ведущего моста необходима для корректирования периодичности технического обслуживания агрегатов трансмиссии, в частности, периодичности замены смазочного материала. Установка датчика позволяет исключить дорогостоящие процедуры регулярной проверки, лабораторной оценки состояния масла, сократить затраты на замену масла и утилизацию отходов. Таким образом, замена масла производится в результате оценки его фактического состояния. В конечном счете данная мера позволяет снизить затраты на техническое обслуживание автомобиля, повысить надежность и конкурентоспособность автомобилей.

Принцип работы вышеупомянутых датчиков основан на оценке диэлектрических свойств масла. Загрязнения, такие как нагар, продукты окисления, вода, этиленгликоль, а также изменения в TBN (общее щелочное число) изменяют диэлектрические свойства смазочного материала. Датчик состояния масла производит анализ составной части диэлектрических свойств масла, известной как тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta$), который изменяется пропорционально количеству загрязнений. Известно, что данный метод измерения чувствителен к изменениям в загрязнении, но малочувствителен к изменению большинства доступных композиций присадок. Значение увеличивается при вводе полярных молекул, например, сложных эфиров, альдегидов и кетонов. Диэлектрическими потерями называют энергию, рассеиваемую в электроизоляционном материале под воздействием на него электрического поля. Способность диэлектрика рассеивать энергию в электрическом поле обычно характеризуют углом диэлектрических потерь, а также тангенсом угла диэлектрических потерь. При испытании диэлектрик рассматривается как диэлектрик конденсатора, у которого измеряется емкость и угол δ , дополняющий до 90° угол сдвига фаз между током и напряжением в емкостной цепи. Этот угол называется углом диэлектрических потерь. Таким примером является трибодатчик, представленный на рисунке 6:



Рис. 7. Трибодатчик:

1 – отображающий элемент; 2 – коммутирующий провод, 3 – датчик

4. Цифровой видеэндоскоп

Для оценки пятна контакта главной передачи и состояния втулок сателлитов дифференциала визуальным способом может использоваться технический цифровой видеэндоскоп (рис. 8)



Рис. 8. Цифровой видеэндоскоп

Цифровой эндоскоп – прибор для осмотра труднодоступных мест с возможностью записи фотографий и видео в различных цифровых на встроенную карту памяти или на съемную микро SD-карту. Современные видеэндоскопы имеют зонд с камерой высокого разрешения с подсветкой, контролируемый уровень изгиба дистального конца зонда. Управление зондом производится посредством джойстика. Дистальный конец может иметь полноценную всестороннюю артикуляцию на 360° (рисунок 9). Зонд эндоскопа имеет многослойную оплетку, верхним слоем которой является покрытие из вольфрама. Оплетка из вольфрама обладает максимальным сопротивлением к истиранию среди других возможных оплеток. Диаметр зонда может достигать всего 6 мм.



Рис. 9. Зонд и камера видеэндоскопа

Заключение

В рамках данного обзора определен перечень перспективных средств определения технического состояния главных передач и межколесных дифференциалов автомобилей. Наиболее информативным подходом является анализ состояния смазочного материала в агрегате. Повсеместное внедрение бортовых информационных систем (БИС) в конструкции коммерческих автомобилях диктует перспективу использования датчиков деградации в агрегатах трансмиссии, интегрированных в интерфейс системы. Это наиболее удобный способ: состояние работавшего масла можно отслеживать в режиме онлайн, и, тем самым, производить замену по фактической выработке смазочного материала, основываясь на объективной количественной оценке показателей, влияющих непосредственно на ресурс масла, а, следовательно, и на ресурс узлов трансмиссии. Такой подход исключает проведение традиционных процедур диагностирования и тем самым приводит к снижению стоимости владения автомобилем. На основании представленного обзора были разработаны технические требования для датчиков деградации смазочного материала.

Список литературы:

- [1]. Беспроводной автомобильный стетоскоп ADD3500. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.autoscaners.ru/data/add3500/add%203500.pdf> (дата обращения 10.11.2016)
- [2]. Л. Терри Клозинг. Профессиональные рекомендации по использованию тепловизоров для проверки резервуаров и емкостей. / Fluke Corporation. Режим доступа: <http://fluke.informationstore.net/efulfillment.asp?publication=11440-rus> (дата обращения 10.11.2016)

- [3]. Справочник химика: справочник. В 7 т. Т.5. 2-е изд. пер. и доп. Сырье и продукты промышленности неорганических веществ. Процессы и аппараты. Коррозия. Гальванотехника. Химические источники тока. / ред. Никольский Б.П. Л.: Химия. 1968. 976 с.
- [4]. Ремонт и сервис легковых автомобилей. / Сайт РСВ Сервис. Режим доступа: <http://www.r-s-v.ru/article.php?page=67> (дата обращения 10.11.2016).
- [5]. Продукция ООО «Химмотолог». // Нефтехимический территориальный кластер Республики Башкортостан. Режим доступа: <http://www.ntkrb.org/members/334/> (дата обращения 10.11.2016).
- [6]. ANALEXrs oil condition Sensor. / ANALEXrs трибодатчик состояния масла. Руководство пользователя. Режим доступа: http://www.ideas-online.co.za/index_htm_files/OneproD_Oil_Condition_%20Sensor%20Issue%202.pdf (дата обращения 10.11.2016).
- [7]. Видеоэндоскопы. / Общество с ограниченной ответственностью «Стратегия контроля. Режим доступа: <http://www.sk-ndt.ru/catalog-143-videoendoskopi.htm> (дата обращения 10.11.2016).