

УДК 665.6

М.Е. Федосова<sup>1</sup>, А.Е. Федосов<sup>1</sup>, Л.А. Бердников<sup>2</sup>, С.В. Ильянов<sup>2</sup>,  
К.А. Горбунов<sup>2</sup>, А.И. Шишкин<sup>3</sup>

## МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИН ПОТЕРИ МОТОРНЫМ МАСЛОМ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Дзержинский политехнический институт (филиал) Нижегородского государственного  
технического университета им. Р. Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева<sup>2</sup>,  
ОАО «Авиабор», г. Дзержинск<sup>3</sup>

Рассматривается проблема выявления причин отказов двигателей внутреннего сгорания вследствие ухудшения основных физико-химических характеристик моторного масла. С помощью метода ИК-спектроскопии определены химические составы горюче-смазочных материалов до и после эксплуатации, выявлены основные механизмы химического взаимодействия компонентов масла и присадки, определены физико-химические свойства моторного масла, являющиеся приоритетными для нормальной работы двигателей внутреннего сгорания.

*Ключевые слова:* моторное масло, присадки к моторному маслу, вязкостные свойства масла, химическая реакция, образование высокомолекулярных эфиров.

Моторные масла – это группа масел, которые используются для смазывания двигателей внутреннего сгорания. Моторные масла являются продуктами переработки нефти [1]. Состоят они из основы – базового масла – и присадок. Свойства масла определяются, прежде всего, химическим составом основы, присадки же предназначены для корректировки и улучшения этих характеристик. С помощью присадок можно значительно повысить эксплуатационные свойства моторных масел, даже изготовленных из не самых лучших базовых масел. При длительной эксплуатации, особенно при высоких нагрузках, присадки разрушаются, и конечное качество моторного масла, проработавшего в двигателе более половины положенного срока, определяется качеством базового масла [3].

Технология получения товарных масел довольно сложная и трудоемкая. Базовое масло получают смешиванием дистиллятного (полученного из мазута) и остаточного (полученного из гудрона), прошедших соответствующие виды очисток от нежелательных компонентов (смола, сернистых соединений, высокозастывающих компонентов и др.). Затем к базовому маслу, отвечающему требованиям стандарта по ряду физико-химических показателей качества, добавляют комплекс присадок. При добавлении присадок учитывают их совместимость, т.е. присадки должны выполнять только функции, для которых они предназначены, не ухудшая других качеств масла и не влияя на действие других присадок. Кроме того, присадки не должны выпадать в осадок и разлагаться при хранении масел. Учитываются и эксплуатационные факторы работы масел: температура, давление, наличие цветных металлов и сплавов, вид топлива и др. Поэтому состав присадок (соответственно и масел) для двигателей (бензиновых и дизельных, малофорсированных и высокофорсированных, турбонаддувных и без турбонаддува) различен.

К современным моторным маслам предъявляются определенные требования, главными из которых являются следующие:

1) высокие моющая, диспергирующе-стабилизирующая, пептизирующая и солибилизирующая способности по отношению к различным нерастворимым загрязнениям, обеспечивающие чистоту деталей двигателя;

2) высокая термическая и термоокислительная стабильность, позволяющая использо-

вать масла для охлаждения поршней, а также повышать предельный нагрев масла в картере и увеличивать срок между заменами;

3) хорошие противоизносные свойства: эти свойства обеспечиваются прочностью масляной пленки, необходимой вязкостью при высокой температуре и высоком градиенте скорости сдвига, а также способностью химически модифицировать поверхность металла при граничном трении и нейтрализовать кислоты, образуемые при окислении масла [2], и др.

Один из показателей качества масла – его вязкость (сила внутреннего трения). От ее значения зависят техническое состояние двигателя, расход топлива и масла. По вязкостным показателям подбирается масло для определенного двигателя в зависимости от конструкции, технического состояния, условий эксплуатации, сезонности и других факторов. Значение вязкости масла входит в его маркировку в виде цифрового индекса, например, М-8В-1, М-10Г2, где цифры 8 и 10 обозначают значение кинематической вязкости ( $\text{мм}^2/\text{с}$ ), при 100 °С. Использование маловязких масел (тем более загущенных — всесезонных) позволяет экономить топливо. Но, с другой стороны, использование маловязкого масла может стать причиной повышенного износа деталей, в том числе абразивного, увеличения расхода масла на угар. Например, расход масла М-5з/12Г1 на угар больше по сравнению с расходом на угар масла М-12Г1. Но применение масел с повышенной вязкостью связано с увеличением механических потерь, ухудшением пуска двигателя, увеличением пусковых износов. Масла подбирают такой вязкости, которая обеспечивала бы надежную смазку, небольшой расход на угар, легкий пуск двигателя, отвод теплоты и др. Оптимальное значение вязкости масла в каждом конкретном случае обеспечивает минимальный износ деталей двигателя, достаточную скорость подачи масла к цилиндрам, максимальный отвод теплоты (масло отводит 1,5–4,5 % теплоты, выделяемой при сгорании топлива), уплотнение зазоров (обеспечивает минимальный прорыв отработавших газов в масляный картер и расход масла на угар). Масла в зависимости от вязкостных свойств используются при зимней и летней эксплуатации. Использование зимой летних сортов масел ведет к дополнительному расходу топлива до 8 %; использование зимних масел летом – к повышенному износу двигателя, увеличению расхода масла на угар.

От значения вязкости зависит прокачиваемость по масляной системе, отвод тепла от трущихся поверхностей, их чистота. Это обеспечивает масло с меньшей вязкостью. Для уплотнения зазоров в изношенных двигателях при работе с повышенными давлениями требуются масла с более высокой вязкостью.

Вязкость не является величиной постоянной, она изменяется с изменением температуры. Качественными маслами являются те, которые имеют небольшую вязкость при отрицательных температурах и обеспечивают хорошую текучесть, минимальные пусковые износы, а при рабочих температурах имеют высокую вязкость (независимо от температуры вязкость остается стабильной) и хорошие смазочные свойства. Для характеристики вязкостно-температурных свойств масел существует ряд показателей: значение вязкости при температурах 100, 50, 0, -18 °С, соотношение вязкостей при различных температурах, вязкостно-температурные коэффициенты, индексы вязкости. Международным показателем вязкостно-температурных свойств масел является индекс вязкости.

Индекс вязкости - безразмерная условная величина, характеризующая степень изменения вязкости с изменением температуры, наклон вязкостно-температурной кривой. Чем меньше изменяется вязкость с изменением температуры, тем выше индекс вязкости. Качественными маслами по вязкостно-температурным свойствам являются масла с индексом вязкости выше 100. В первую очередь это всесезонные с индексом вязкости выше 125. Сезонные масла – зимние и летние – могут иметь индекс вязкости менее 100.

Работа современных двигателей внутреннего сгорания невозможна без надежного функционирования системы смазки. Однако свойства масел могут изменяться в достаточно широких пределах под влиянием различных факторов. Наиболее распространенными факторами, влияющими на основные свойства масла, являются не только исходное качество базово-

вого масла, условия его эксплуатации, но и другие причины, например, добавление владельцем автомобиля неподходящих для данного масла присадок. Такие воздействия на смазочную систему автомобиля часто приводят к серьезным поломкам двигателя.

Установление механизма выхода двигателя из строя в таком случае является трудной задачей, решить которую невозможно без применения высокоточных методов химического анализа.

Для определения механизма поломки двигателя, связанного с сильным загустением масла и, как следствие, невозможностью выполнения им прямых функций, авторами применен способ ИК-спектроскопии [4]. Для описания наиболее вероятного механизма химического взаимодействия компонентов добавленной присадки с компонентами моторного масла в данном случае требуется проведение анализа нескольких проб смолообразных отложений из различных частей системы смазки и двигателя автомобиля. Для решения поставленной задачи были получены образцы из поддона двигателя внутреннего сгорания (№ 1); масла непосредственно из двигателя внутреннего сгорания (№ 2); масла из масляного фильтра (№ 3) и непосредственно с его поверхности (№ 4); исходной присадки, залитой в систему смазки двигателя, (№ 5); неиспользованного «свежего» моторного масла той же марки (№ 6).

Все исследования по определению преобразования масла после добавления несовместимой присадки в двигателе внутреннего сгорания проводили с использованием ИК-спектроскопии на приборе Spectrum BX II (производитель Perkin Elmer) с использованием кювет из хлорида натрия.

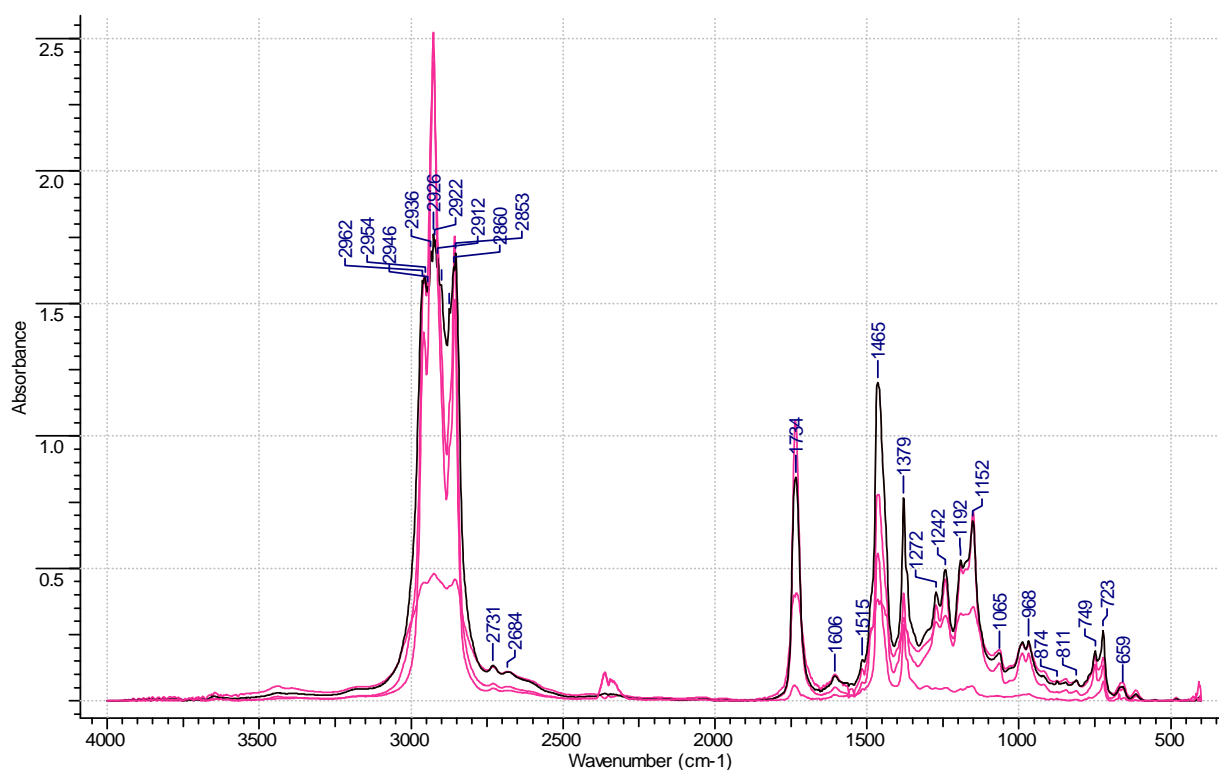


Рис. 1. ИК-спектры образцов № 1-4

Проба отработанного масла представляет собой сложную смесь большого числа соединений, включая само исходное масло, добавки, продукты химической деградации и примеси. ИК-спектр такой пробы является суперпозицией спектров отдельных компонентов и состоит из большого числа перекрывающихся пиков.

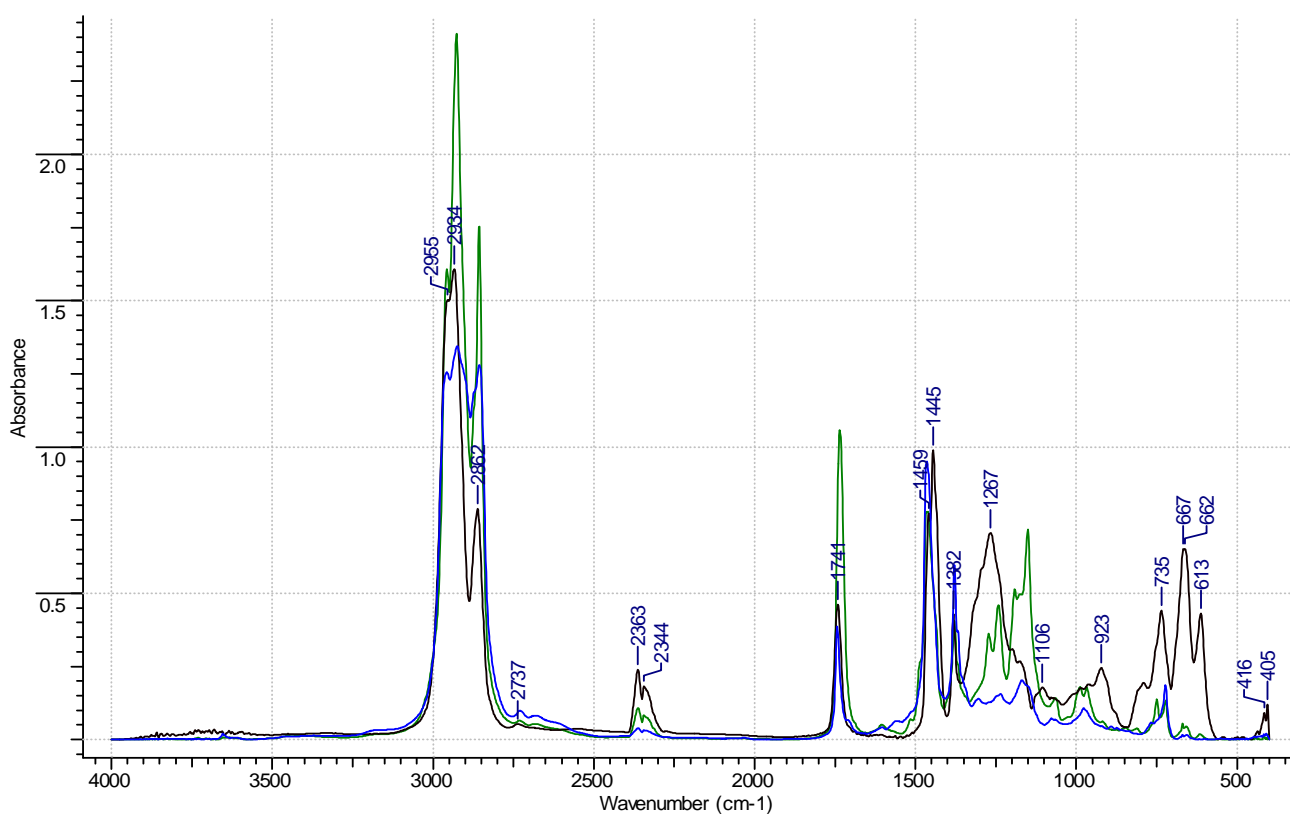
При анализе отработанного масла особое внимание уделяется изменениям, происшедшим с момента заливки «свежего» масла. По этой причине необходимо было иметь ИК-спектр «свежего», неиспользованного масла, который применяется в дальнейшем в качестве

спектра сравнения. Сравнение ИК-спектров «свежего» масла и масла из двигателя внутреннего сгорания позволяет определить возможные превращения, происходящие в масляной системе двигателя внутреннего сгорания.

При исследовании представленных образцов все из них были разделены на две группы: первая группа – масло из двигателя внутреннего сгорания (образец № 2 и образцы № 1, 3, 4), вторая группа - образец нового масла (образец № 6) и присадка (образец № 5). На рис. 1 представлены ИК-спектры образцов из первой рассматриваемой группы (образцы № 1-4).

Анализируя область спектра от 500 до 2000  $\text{см}^{-1}$  и от 2500 до 3500  $\text{см}^{-1}$ , можно заметить, что образцы имеют одинаковые полосы поглощения, что свидетельствует об их одинаковом химическом строении. Различия между образцами № 1-4 наблюдается только в интенсивностях пиков в области от 500 до 2000  $\text{см}^{-1}$  и от 2500 до 3500  $\text{см}^{-1}$ , что объясняется различным содержанием смолообразных продуктов. Учитывая, что химический состав образцов № 1-4 идентичен, для уменьшения массива обрабатываемых визуальных данных в дальнейших сравнениях ИК-спектров за представительный примем спектр образца № 2.

На рис. 2 представлены ИК-спектры образцов нового масла (образец № 6), присадки (образец № 5) и представительной пробы № 2.



**Рис. 2. ИК-спектры образцов № 2, № 5, № 6:**

образец № 2 – отработанное масло из двигателя внутреннего сгорания;

образец № 5 – присадка, залитая в двигатель внутреннего сгорания;

образец № 6 – «свежее» масло

Следует особенно отметить, что в представленных на исследование образцах № 5 и № 6 отсутствует вода. ИК-спектр воды имеет интенсивный легкораспознаваемый пик в области частот от 3000 до 3600  $\text{см}^{-1}$ , соответствующий валентным колебаниям ОН-групп, участвующих в водородной связи. На рис. 2 подобной картины не наблюдается, что позволяет однозначно судить об отсутствии воды в образцах № 5 и № 6. Однако следует отметить, что на рис. 1 в указанной области спектра имеются пики малой интенсивности. Это объясняется наличием небольшого количества воды в отработанном масле, что

свидетельствует о некотором времени его использования, так как вода – один из продуктов окисления углеводов, являющихся основным компонентом масел и топлив.

Анализируя ИК-спектры образцов № 2–№ 6, можно видеть в образце № 2 не наблюдается интенсивных пиков поглощения, характерных для присадки (образец № 5), но есть новые пики в области от 1000 до 1500 см<sup>-1</sup>, подобных пиков поглощения нет и в образце № 6. Это свидетельствует о возможности протекания химической реакции между компонентами присадки (образец № 5) и масла из двигателя автомобиля. Полосы поглощения новых химических соединений (область от 1000 до 1500 см<sup>-1</sup>, образец № 2) и соединений, подвергшихся превращению из образца № 5, сведены в табл. 1.

Таблица 1

Полосы поглощения новых химических соединений

Полосы поглощения веществ, подвергшихся превращению из образца № 5		Полосы поглощения веществ, образовавшиеся в образце № 2	
Длина волны, см <sup>-1</sup>	Группы и типы колебаний	Длина волны, см <sup>-1</sup>	Группы и типы колебаний
1267	RCH <sub>2</sub> Cl	1242	-COO- (эфирная группа)
923	-	1192	-COO- (эфирная группа)
735	-C-Cl	1151	-COO- (эфирная группа)
667	-C-Cl	1064	-COO- (эфирная группа)
613	-C-Cl	988	-COC-
		750	δ-(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> -
		722	δ-(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> -

Из табл. 1 видно, что в условиях эксплуатации масла и присадки (образец № 5) произошла реакция свободных кислот, образующихся при окислении масла с хлорорганическими соединениями углеводов, которые являются основой присадки, в результате чего образовались высокомолекулярные сложные эфиры. В общем виде схему превращения присадки (образец № 5) и образования новых продуктов (образец № 2) можно представить так:



Моторное масло характеризуется сложным химическим составом, определяющим основные свойства масла: вязкость, индекс вязкости, плотность, общее кислотное число, температуру вспышки и др. Соответствие этих основных свойств необходимым параметрам, отраженных в технической документации завода-изготовителя масла, в инструкции по применению масла, должно обеспечивать корректную работу смазочной системы и нормальную работу двигателя. В случае, когда химический состав масла меняется (с течением времени – процесс естественного старения масла – или по причине протекания химической реакции между компонентами масла и компонентами присадки), основные свойства масла могут значительно изменяться, что приводит к некорректной работе смазочной системы двигателя и к отказу двигателя.

Применяя указанный факт к данному случаю, можно сделать вывод: в моторное масло, обладающее определенным химическим составом (рис. 2), была добавлена присадка, в результате чего химический состав масла изменился вследствие расходования исходных компонентов масла и образования сложных высокомолекулярных эфиров. Изменение химического состава масла повлекло изменение его свойств, особенно вязкостных,

поскольку такие вещества, как сложные высокомолекулярные эфиры легко склонны к агломерации, укрупнению, и вместе с тем практически не растворимы ни в одном растворителе, что в совокупности приводит к значительному увеличению вязкости. Таким образом, основной параметр масла – вязкость – был изменен в результате протекания химической реакции, масло не могло больше выполнять своих функций, в результате чего произошел отказ в работе двигателя.

#### Библиографический список

1. Топлива, смазочные материалы и технические жидкости / В.В. Остриков [и др.]. – Тамбов: ТГТУ, 2008.
2. Динцес, А.И. Синтетические смазочные масла / А.И. Динцес, А.В. Дружинина. – М: Химия, 1958.
3. Андреев, Г.П. Современные автомобильные моторные масла: учеб. пособие / Г.П. Андреев. – Орел: ОрёлГТУ, 2005.
4. Применение методов молекулярной и атомарной спектроскопии к исследованию продуктов нефтепереработки, нефтехимии и катализаторов // Труды ВНИИ НП. 1976. Вып. 19. – 106 с.

Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014

M.E. Fedosova<sup>1</sup>, A.E. Fedosov<sup>1</sup>, S.V. Pyanov<sup>2</sup>, L.A. Berdnikov<sup>2</sup>,  
K.A. Gorbunov<sup>2</sup>, A.I. Shishkin<sup>3</sup>

#### METHODS OF IDENTIFY POSSIBLE CAUSES LOSS ENGINE OIL'S PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Dzerzhinsk polytechnic institute (branch) Nizhny Novgorod state technical  
university n. a. R.E. Alexeev<sup>1</sup>,  
Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev<sup>2</sup>,  
OJSC AVIABOR<sup>3</sup>

**Objective:** To define the mechanism of chemical interaction between incompatible motor oils and additives.

**Design / methodology / approach:** Mechanism revealed by IR spectroscopy; chemical composition studies of the engine oil and the additive before and after operation were conducted; chemical composition of the precipitate was determined; mechanism of chemical interaction of working fluids was determined on the basis of the data obtained.

**Conclusion:** As a result of incompatible motor oils and additives viscosity motor oil has increased significantly since high molecular weight esters formed; in the end, all this has led to engine failure.

**Results and their field of application:** The identification of mechanisms allows us to understand what components are additive adversely affect the properties of engine oil and adjust retseptury additives for motor oil.

**Originality / value:** This work differs from the similar use of modern analytical techniques.

*Key words:* motor oil, additives for motor oil, viscosity properties of chemical reaction, the formation of high molecular weight esters.