

УДК 665.761:543.421/.424

**А.А. Хазиев, А.В. Лаушкин, Б.С. Борисов**

Московский автомобильно-дорожный государственный  
технический университет (МАДИ), Москва, Россия

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА  
ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА  
МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ  
С РАЗЛОЖЕНИЕМ В РЯД ФУРЬЕ**

Описаны основные принципы и возможности анализа моторных масел ИК-спектрометрией с целью определения его химических изменений в процессе эксплуатации.

**Ключевые слова:** моторное масло, методы исследования, ИК-спектроскопия.

**A.A. Khaziev, A.V. Laushkin, B.S. Borisov**

Moscow State Automobile and Road Technical University,  
Moscow, Russian Federation

**DEVELOPMENT OF ALGORITHM OF SEARCH  
OF THE INDIVIDUAL COMPOUNDS IN THE RESULTS  
OF THE ANALYSIS OF MOTOR OILS  
BY THE METHOD OF “FTIR”**

In this article there were described general principle and possibility of motor oils analysis by IR-spectroscopy for determination of its chemical changes at exploitation process.

**Keywords:** motor oil, analysis methods, IR- spectroscopy.

В последнее время участились отказы двигателей автомобилей на гарантийном пробеге из-за резкого ухудшения качества моторного масла. В ряде случаев наблюдается полная потеря ресурса смазочного материала, сопровождающаяся потерей текучести масла и, соответственно, отказом силового агрегата.

Специалисты, занимающиеся экспертной деятельностью, пытаются установить причины изменения свойств моторных масел. Классические методы анализа: измерение плотности, вязкости, щелочного и кислотного чисел, температуры вспышки свежего и работавшего масел и др. – не позволяют достоверно определить, какие химические превращения происходят в маслах. Поэтому дополнительно к измерению

стандартных физико-химических показателей качества моторного масла в испытательной лаборатории МАДИ-ХИМ было принято решение использовать методы аналитической химии, а именно – метод поглощения излучения в инфракрасном спектре с последующим разложением в ряд Фурье.

Фурье-спектроскопия является одним из методов оптической спектроскопии и отличается от классического метода отсутствием диспергирующего элемента. Получение спектра происходит в два этапа: сначала регистрируется интерферограмма исследуемого излучения, затем путем ее Фурье-преобразования вычисляется спектр [1]. Пример спектра моторного масла изображен на рисунке.

Характерными соединениями для моторных масел являются соединения углерода и водорода. Каждое из этих соединений поглощает ИК-излучение на определенных волновых числах (таблица). Именно в этих областях поглощения и наблюдаются основные пики. Высота пика будет пропорциональна количеству связей. Например, если высоты пиков от групп «-CH<sub>3</sub>» и «-CH<sub>2</sub>-» равны, то в соединении одинаковое количество этих групп и в аналитической кювете находится газ бутан: «CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>». Для моторных масел в диапазоне волновых чисел 3100–2800 см<sup>-1</sup> линии накладываются друг на друга, выходя за границы определения коэффициента поглощения. Спектрограмма «пересвечивается», что делает практически невозможным анализ. В диапазоне 1700–500 см<sup>-1</sup> наблюдаются более узкие и низкие пики, однако они характерны для всех органических соединений и также практически не подлежат анализу. Дополнительные пики [2] могут образоваться при появлении в анализируемом образце циклических, ароматических, непредельных соединений или кислородо- и азотосодержащих веществ, что зачастую связано со старением моторного масла.

Для контроля за состоянием двигателей и реализации интервалов замены моторного масла по фактическому состоянию производители сложной автомобильной техники и силовых агрегатов включают в перечень исследуемых физико-химических характеристик анализ ИК-спектра с разложением в ряд Фурье. Стандартная методика мониторинга состояния находящихся в условиях эксплуатации смазочных материалов методом анализа трендов с помощью инфракрасной спектрометрии на основе преобразования Фурье прописана в ASTM E2412-10. В этом документе указаны характерные пики поглощения соединений, влияющих на свойства моторного масла. Программное обеспечение

ИК-спектрометр позволяет соотносить характеристики определенных участков спектра с процессами, характеризующими старение моторного масла: попадание воды и этиленгликоля, накопление сажи, бензина и дизельного топлива, наличие противоизносных присадок на основе фосфора, сульфатация, окисление, нитрование и др.

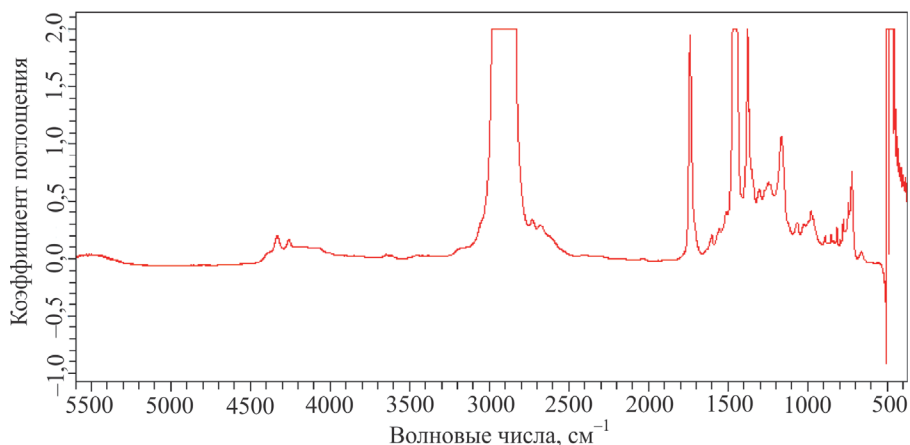


Рис. ИК-спектр моторного масла Motul 300V Power 5W-40

### Характерные соединения органических веществ [3]

Соединение	Характеристика	Максимальное волновое число	Минимальное волновое число
-CH <sub>3</sub>	Окончание углеводородной цепи	2960	
-CH <sub>3</sub>		2870	
-CH <sub>3</sub>		1470	1430
-CH <sub>3</sub>		1380	1370
-CH <sub>2</sub> -	Основная часть углеводородной цепи	2925	
-CH <sub>2</sub> -		2850	
-CH <sub>2</sub> -		1485	1445
C-H	Любая связь углерод – водород	2985	2850
C-H		3100	3000
C-H		770	730
C-H		710	690
C-H		810	750
C-H		710	690
C-H		840	810
>CH-	Ответвления от основной цепи	1340	

Результаты исследований смазочных материалов свидетельствуют, что в некоторых случаях показания прибора не соответствуют ре-

альным характеристикам моторного масла. Для разрешения этих вопросов сотрудниками лаборатории МАДИ-ХИМ был собран каталог ИК-спектров различных моторных масел. С помощью входящего в комплект ИК-спектрометра программного обеспечения спектры накладывались друг на друга и определялись сходные и различные пики поглощения масел. При этом анализировались свежие масла различных марок, свежее и работавшее масла одной марки.

Различие пиков поглощения для различных марок масел позволяет судить о различных компонентах, входящих в их состав. Увеличение интенсивности поглощения для конкретных волновых чисел в работавшем масле показывает накопление определенных соединений. При анализе спектров масел выяснилось, что поиск веществ и соединений по пикам является весьма трудоемким и не всегда эффективным процессом и требует высокой квалификации и опыта химика-исследователя. В открытых источниках программ, позволяющих в автоматическом режиме выявлять в масле посторонние соединения, найдено не было. Поэтому была создана электронная база данных, позволяющая автоматизировать процесс анализа масел методом инфракрасной спектроскопии. Фильтр в верхней строке позволяет быстро выделить из таблицы искомые составляющие. Электронная база позволяет реализовать:

- поиск характерных линий поглощения по веществу (классические углеводородные связи опускаются);
- поиск характерных линий по соединению;
- поиск соединений и веществ по пику поглощения.

Так, если известно, что при работе в масле может попадать какое-либо вещество, например этиленгликоль, то в фильтре «Возможные вещества» следует выбрать «Спирты». Тогда в подборку попадут волновые числа соединений С-О и О-Н, которые следует искать на реальном спектре. Проверив несколько точек, можно достаточно быстро понять, имеется ли указанное вещество на сравниваемых спектрах. Если выстраивается гипотеза об образовании определенных соединений, фильтром выделяется именно оно. Затем на спектре находятся соответствующие пики. Впоследствии возможно дополнительно наложить ранее описанный фильтр, выстраивая гипотезу об образовании конкретных веществ.

Наиболее сложно реализуется алгоритм поиска соединения по пику поглощения ИК-излучения. При построении гипотезы следует выбирать соединение (вещество), середина диапазона волновых чисел которого находится ближе к волновому числу, найденному на спектрограмме. При этом следует учитывать, что отдельные соединения смещают пики. Некоторые пики могут поглощаться соседним более сильным пиком, в случае большого количества соединения в исследуемом масле. При анализе следует учитывать, что различные вещества зачастую имеют одинаковые связи. Так, например, пик с волновым числом  $1735\text{ см}^{-1}$  (см. рисунок) характеризует соединение углерода и кислорода двойной связью:  $>\text{C}=\text{O}$ . Такое соединение характерно для кетонов, альдегидов, жирных кислот, сложных эфиров.

В целом результаты работы показали хорошую корреляцию с существующей методикой оценки состояния масел ASTM E2412-10 и свидетельствуют о широких возможностях применения метода инфракрасной спектроскопии с разложением в ряд Фурье для анализа свежих и работавших моторных масел.

*Работа проводилась в рамках Программы стратегического развития МАДИ на период 2012–2016 гг.*

### Список литературы

1. Гаврушко В.В. Лабораторная работа «Фурье спектроскопия»: учеб.-метод. пособие / Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого, Ин-т электронных и информационных систем. – Великий Новгород, 2012. – 21 с.
2. Тарасевич Б.Н. ИК-спектры основных классов органических соединений: Справочные материалы / Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. – М., 2012. – 55 с.
3. Литманович А.А., Литманович О.Е. Аналитическая химия: в 2 ч. Ч. 2: Количественный химический анализ. Инструментальные методы анализа: учеб.-метод. пособие / МАДИ. – М., 2010. – 56 с.

### References

1. Gavrushko V.V. Laboratornaia rabota "Fur'e spektroskopiiia" [Laboratory work "Fourier spectroscopy"]. Velikii Novgorod: Novgorodskii gosudarstvennyi universitet imeni Iaroslava Mudrogo: Institut elektronnykh i informatsionnykh sistem, 2012, 21 p.

2. Tarasevich B.N. IR-spektry osnovnykh klassov organicheskikh soedinenii: Spravochnye materialy [The IR spectra of the major classes of organic compounds: Reference]. Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet imeni M.V. Lomonosova, 2012, 55 p.

3. Litmanovich A.A., Litmanovich O.E. Analiticheskaia khimiia: v 2 chastiakh. Chast' 2: Kolichestvennyi khimicheskii analiz. Instrumental'nye metody analiza [Analytical chemistry: in 2 parts. Part 2: Quantitative chemical analysis. Instrumental methods of analysis ]. Moscow: Moskovskii avtomobil'no-dorozhnyi gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2010, 56 p.

Получено 17.10.2014

### Об авторах

**Хазиев Анвар Асхатович** (Москва, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервиса» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), руководитель испытательной лаборатории МАДИ-ХИМ (125319, г. Москва, Ленинградский пр., 64, e-mail: [madi-chim@mail.ru](mailto:madi-chim@mail.ru)).

**Лаушкин Андрей Вячеславович** (Москва, Россия) – ассистент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервиса» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), ведущий инженер лаборатории топлива и масел МАДИ (125319, г. Москва, Ленинградский пр., 64, e-mail: [lav82@mail.ru](mailto:lav82@mail.ru)).

**Борисов Борис Сергеевич** (Москва, Россия) – студент Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) (125319, г. Москва, Ленинградский пр., 64, e-mail: [borislaw.borisov@yandex.ru](mailto:borislaw.borisov@yandex.ru)).

### About the authors

**Khaziev Anvar Askhatovich** (Moscow, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Operation of automobile transport and auto service, Moscow State Automobile and Road Technical University, Head of Test laboratory MADI-CHEM (64, Leningradskii av., Moscow, 125319, Russian Federation, e-mail: [madi-chim@mail.ru](mailto:madi-chim@mail.ru)).

**Laushkin Andrei Viacheslavovich** (Moscow, Russian Federation) – Assistant, Department of Operation of automobile transport and auto service, Moscow State Automobile and Road Technical University, Leading engineer of the Laboratory of Fuel and Oils MADI (64, Leningradskii av., Moscow, 125319, Russian Federation, e-mail: lav82@mail.ru).

**Borisov Boris Sergeevich** (Moscow, Russian Federation) – Student, Moscow State Automobile and Road Technical University (64, Leningradskii av., Moscow, 125319, Russian Federation, e-mail: borislaw.borisov@yandex.ru).