

УДК 665.6

А.С. Негодяев, Л.А. Бердников, М.Е. Федосова

## ПЕРСПЕКТИВЫ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

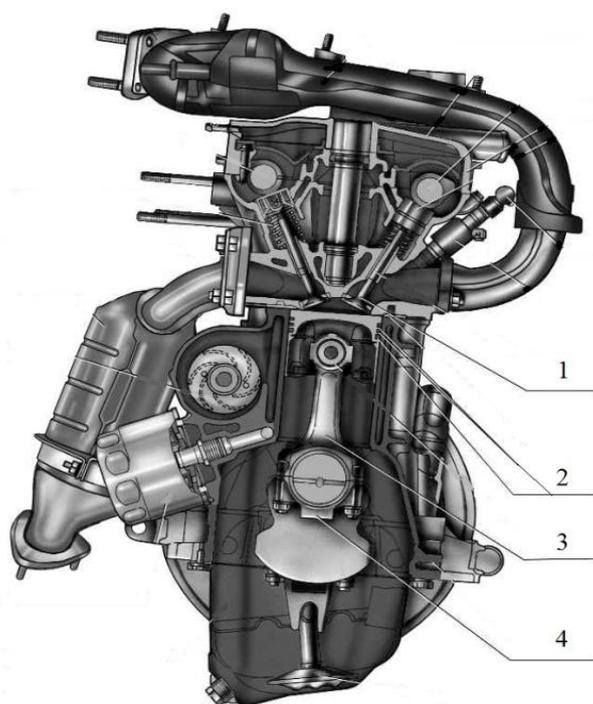
Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Статья посвящена комплексу проблем осадкообразования в двигателях внутреннего сгорания. Определен химический состав нагара и составлено многопараметрическое уравнение скорости образования нагара с учетом теплового режима работы агрегата. Решение рассматриваемой задачи возможно при использовании современных методов аналитической химии, что будет способствовать разработке рецептов новых эффективных антинагарных и моющих присадок.

*Ключевые слова:* осадкообразование, нагар, тепловой режим, современные методы аналитической химии, присадки, качество топлива.

При эксплуатации двигателей внутреннего сгорания происходит накопление отложений – нагара и лака, что в дальнейшем приводит к существенному снижению экономичности и сокращению ресурса двигателя, вызываемого, прежде всего, ухудшением работы деталей и механизмов вследствие их локальных перегревов. Поэтому на данный момент изучение причин и механизмов образования отложений в ДВС представляет большой интерес.

Исследования показывают, что особенно интенсивно отложения образуются на деталях цилиндропоршневой группы, кривошипно-шатунного механизма и во впускном коллекторе. Основной причиной появления отложений в двигателе являются термические превращения компонентов топлива и масла в зонах высоких температур, чаще всего, на стенках камеры сгорания, днище поршней и седлах впускных клапанов [1]. Основные точки локализации осадкообразования изображены на рис. 1.



**Рис. 1. Локализация основных точек осадкообразования:**

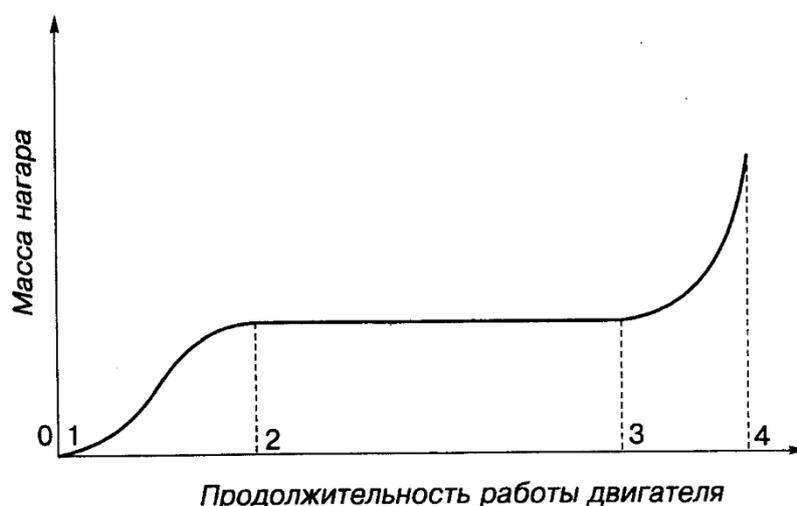
1 – каналы впускного коллектора и седла клапанов; 2 – детали цилиндропоршневой группы;  
3, 4 – детали кривошипно-шатунного механизма

Исходя из необходимости увеличения межремонтных пробегов, снижения количества отказов в работе и сокращения объема техобслуживания, в настоящее время постоянно повышаются требования к надежности и долговечности двигателей внутреннего сгорания.

Одним из способов повышения надежности и долговечности ДВС является снижение образования нагара и других видов отложений на поверхностях их деталей.

Установлено что нагар, ухудшая теплоотвод, повышает максимальную температуру горения, тем самым приводя к повышению на 10-12 пунктов требований двигателя к октановому числу бензина. Кроме того, нагар способствует увеличению выбросов CO и NO<sub>x</sub>, следовательно, с точки зрения требований экологичности к автомобильным ДВС подавление нагарообразования является не менее заманчивым.

На данный момент результаты, полученные при изучении процесса осадкообразования, позволили установить механизм образования (рис. 2) [2].



**Рис. 2. Фазы процесса нагарообразования в двигателе:**

1 – начало образования; 1-2 – фаза роста; 2-3 – фаза равновесного состояния нагара; 3-4 – заключительная фаза роста нагара; 4 – прекращение эксплуатации двигателя

Начальной стадией нагарообразования является жидкофазное окисление высококипящих углеводородов, попадающих в камеру сгорания в виде отдельных мелких капель. Последующая конденсация, полимеризация и уплотнение продуктов окисления образуют материал для формирования нагара в определенных зонах его существования, зависящих, в свою очередь, от температурных и газодинамических условий в камере сгорания. Вне этих зон нагар выгорает.

Для изучения механизма нагарообразования предполагается применение комплексного подхода, в том числе современных методов аналитической химии – ИК-спектроскопии для определения основных функциональных групп вещества нагара.

Метод инфракрасной спектроскопии дает возможность получить сведения об относительных положениях молекул в течение очень коротких промежутков времени, а также оценить характер связи между ними, что является принципиально важным при изучении структурно-информационных свойств различных веществ. Кроме того, логичным этапом исследования механизма нагарообразования представляется определение основных эксплуатационных характеристик горюче-смазочных материалов.

Типичный спектр нагара, полученный на приборе IRAffinity-1 (рис. 3) в таблетках KBr (апертура 8 мм) в интервале частот 400-4000 см<sup>-1</sup>, приведен на рис. 4.

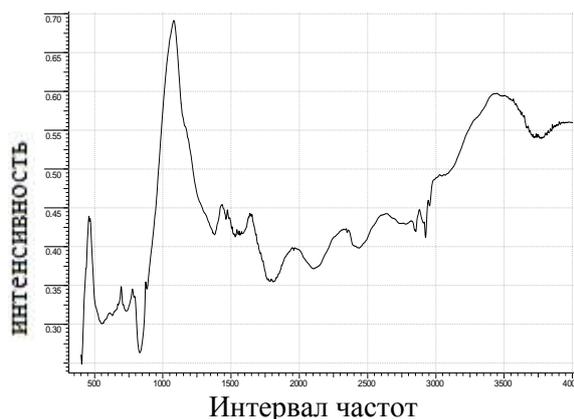


Рис. 3. ИК-Фурье спектрометр IRAffinity-1

Рис. 4. Спектр нагара с впускного клапана ДВС

Расшифровка спектров проводится двумя способами: с помощью обобщенных таблиц характеристических пиков, приведенных в литературе [3], либо методом сравнения полученного спектра с имеющимися в базе данных программного обеспечения прибора. Метод ИК-спектроскопии позволяет с достаточно высокой точностью идентифицировать химический состав нагара.

Несмотря на весь массив исследований проблемы осадкообразования, относительно небольшое внимание уделялось эксплуатационным факторам, влияющим на возникновение рассматриваемого процесса (рис. 5).

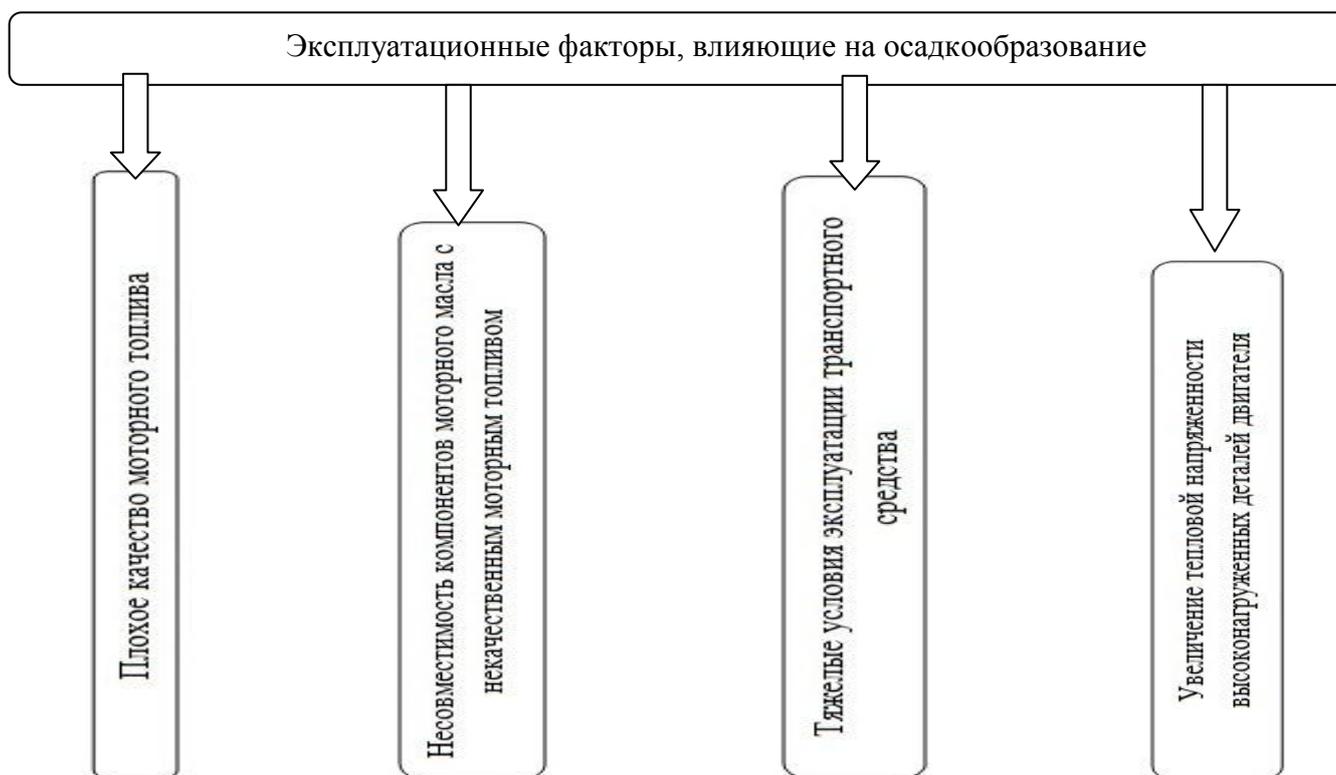


Рис. 5. Схема эксплуатационных факторов, влияющих на осадкообразование

Определяющее влияние на процессы образования отложений и эффективность работы ДВС оказывает качество моторного топлива и тепловой режим теплонагруженных деталей. Оптимальный тепловой режим деталей двигателя можно достигнуть только конструктивными изменениями тех или иных узлов агрегата.

В связи с этим перспективные эксплуатационные способы решения проблемы осадкообразования представляют собой два основных направлений:

1) применение современных методов аналитической химии для разработки новых антинагарных и моющих присадок для ГСМ с учетом изучения механизма нагарообразования, увеличивающих качество и эффективность топлива и моторного масла;

2) создание комплекса методик совершенствования условий эксплуатации транспортных средств для начинающих водителей.

Исследование новых рецептур антинагарных и моющих присадок, а также изучение их поведения в эксплуатации влекут за собой детальное изучение состава и качества производства современного моторного топлива.

По данным испытательной лаборатории МАДИ-ХИМ в последнее время наблюдается устойчивая тенденция ухудшения качества автомобильного бензина. Так, в 2011 г. 40% образцов автомобильного бензина, поступивших на испытания в лабораторию, не соответствовали нормативно-технической документации [4]. Причины этого процесса связаны с отсутствием системного контроля за качеством автомобильного бензина при его хранении и реализации.

Технический регламент по контролю качества моторного топлива отражает табл. 1. Контроль за качеством топлива в стране на данный момент, существенно снижен – контролируется всего четыре параметра из 11 проверяемых ранее [5].

Таблица 1

Технический регламент по контролю качества моторного топлива

№	Параметр топлива	ГОСТ 2084 (1979 г.)	ГОСТ Р 51105 (1999 г.)	ТР (2014 г.)
1	Октановое число по исследовательскому и моторному методам	нормируется	нормируется	не нормируется
2	Фракционный состав	нормируется	нормируется	не нормируется
3	Давление насыщенных паров	нормируется	нормируется	нормируется
4	Содержание фактических смол	нормируется	не нормируется	не нормируется
5	Индукционный период бензина	нормируется	нормируется	не нормируется
6	Испытание на медной пластине	нормируется	нормируется	не нормируется
7	Кислотность	нормируется	не нормируется	не нормируется
8	Механические примеси и вода	нормируется	не нормируется	не нормируется
9	Плотность	не нормируется	нормируется	не нормируется
10	Содержание свинца	нормируется	нормируется	запрещено
11	Содержание марганца	в используемых ранее бензинах отсутствовал	нормируется для низкооктановых бензинов	запрещено
12	Содержание бензола	нормируется	нормируется	нормируется
13	Содержание серы	нормируется	нормируется	нормируется
14	Массовая доля кислорода	не нормируется	не нормируется	нормируется

В настоящий момент активно исследуются присадки к топливу на основе никеля, которые в ходе лабораторных и полевых испытаний показали высокие результаты в борьбе с нагаром. Так, исследования влияния  $Ni(OOCR)_2$  на нагарообразование в бензиновых ДВС показали, что при концентрации  $9,25 \cdot 10^{-4} \%$  (1 мг Ni на кг бензина) нагарообразование уменьшается на 90-95 % (на свечах нагарообразование устраняется полностью), снижаются выбросы газообразных токсичных веществ ( $CO$ ,  $C_xH_y$  и  $NO_2$ ). Еще одним достоинством присадок на основе никеля является снижение удельного расхода топлива на 4-10 %, что подтверждено дорожными испытаниями на автомобилях разных марок. Были проведены исследования влияния никелевой присадки на нагарообразование в дизельных ДВС. При стендо-

вых испытаниях за 9 ч работы двигателя нагар устранился на 70-90 %. Введение в дизельное топливо 27,75 мг/кг присадки снижает коксуемость 10 % остатка, токсичность выбросов при всех режимах работы ДВС и удельный расход топлива [6].

На сегодняшний день применение присадок на основе никеля является одним из наиболее перспективных направлений в улучшении качества моторного топлива. В дальнейшем это позволит приблизить качество обычного топлива с внедренными присадками к качеству топлива с экологическим стандартом не ниже ЕВРО-5.

Инновационное взаимодействие таких дисциплин, как аналитическая химия, компьютерное программирование и техническая эксплуатация автомобилей позволило продвинуться в исследовании механизма образования нагара в ДВС. На данном этапе исследований проведен анализ химического состава нагара, изучены химические составы и основные характеристики ГСМ, условия эксплуатации и температурные режимы работы агрегатов. На основании полученных закономерностей сформирована многопараметрическая модель уравнения скорости образования нагара.

На базе данных, полученных в ходе экспериментов по варьированию указанных параметров, формируется диагностическая программа. Принцип работы ПО таков: вводятся исходные характеристики – свойства ГСМ, предполагаемые условия эксплуатации, температурные условия. Программа на основании встроенных уравнений выдает пробег транспортного средства, при котором не поздно принять меры, – т.е. ввести в систему необходимые антинагарные или моющие присадки. Предварительный вид диагностической программы изображен в табл. 2.

Таблица 2

**Вид диагностической программы для предупреждения автовладельца  
о начале нагарообразования в двигателе**

Автомобили	Комбинация ГСМ а/м № 1	Комбинация ГСМ а/м № 2	Комбинация ГСМ а/м № 3	Комбинация ГСМ а/м № 4
Параметры ГСМ				
Щелочное число, мг КОН/г	8,4	7,5	5,1	3,2
Содержание фактических смол, мг на 100 мл топлива	70	80	90	100
Дымность (коэффициент ослабления света), %	11	14	19	25
Количество нагара, мг	22	28	35	42
Пробег, принятия мер для устранения нагара, км	X	X	X	X

Разработанная программа будет предложена для внесения в регламент технического обслуживания на станциях технического обслуживания, а также в крупных грузовых и пассажирских автотранспортных компаниях.

Работа с подобным программным обеспечением позволит специалистам по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей предотвращать образование отложений в двигателе, тем самым сохраняя его ресурс, заложенный заводом-изготовителем, а в некоторых случаях достичь его увеличения.

**Библиографический список**

1. **Кузьмин, Н.А.** Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 208 с.
2. **Зеленцов, В.В.** Осадкообразование в автомобильных ДВС / В.В. Зеленцов; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 1978. – 40 с.
3. **Смит, А.Л.** Прикладная ИК-спектроскопия: [пер. с англ.] / А.Л. Смит. – М.: Мир, 1982. – 328 с.
4. Информационная сводка о техническом регламенте по контролю качества моторного топлива в Российской Федерации за II квартал 2011 года [Электронный ресурс]. <http://madi-chim.narod.ru/index/0-13>. (Дата обращения 22.09.14).
5. **Магарил, Е.Р.** Подавление нагарообразования с помощью присадки к топливу / Е.Р. Магарил, Н.В. Корзун // Проблемы и достижения автотранспортного комплекса: тез. докл. VI Всерос. научно-технич. конф. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. С. 151–153.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**A.S. Negodyaev, L.A. Berdnikov, M.E. Fedosova**

**PERSPECTIVES ON ISSUES OF SEDIMENTATION IN INTERNAL  
COMBUSTION ENGINES**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** compilation of multi-parameter mathematical equation the rate of formation of varnish deposits in internal combustion engines for verifying mileage at which it is necessary to take measures to prevent engine damage.

**Design / methodology / approach:** mathematical equation is constructed by carrying out numerous studies to determine the dependence of the chemical composition of the varnish deposits, the amount of a deposit depending on the mileage, the rate of formation of soot from the quality of fuel and motor oil, vehicle operating conditions and other factors.

**Findings:** the rate of varnish deposits formation is largely dependent on the quality and compatibility of the source of fuel and motor oil, the engine operating conditions and thermal stress of engine parts.

**Results and their field of application:** software package that allows to determine the mileage at which it is necessary to take measures to prevent damage to the engine, in particular, the use of complex detergent additives will be obtained on the basis of the research .

**Originality / value:** this work differs from similar by increased number of variables and equations, using modern analytical methods.

*Key words:* varnish deposits, detergent additives, operating conditions, multi-parameter equation.