

АНАЛИЗ ОТЛОЖЕНИЙ В АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

¹Кузьмин Н.А., ¹Пачурин Г.В., ¹Кузьмин А.Н.

¹ФГБОУ ВПО Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева Нижний Новгород, Россия (603600, Н. Новгород, ГСП-41, ул. Минина, 24, НГТУ, каф. «Автомобильный транспорт»), e-mail: PachurinGV@mail.ru.

Одним из резервов повышения показателей эксплуатационной надежности двигателей внутреннего сгорания является снижение отложений нагаров, лаков и осадков на поверхностях их деталей, контактирующих с моторным маслом. В основе их образования лежат процессы старения масел (окисление углеводородов, входящих в состав масляной основы). Определяющее влияние на процессы окисления масла в двигателях, на образование отложений и эффективность их работы в целом оказывает тепловой режим теплонагруженных деталей. Произведена экспериментальная оценка и разработаны закономерности процессов образования отложений на поверхностях деталей автомобильных карбюраторных двигателей. Методом конечных элементов смоделированы температурные поля поршней двигателей ЗМЗ-5234.10 с учетом отложений на поверхностях поршней нагаров, лаков и осадков. Отложения существенно изменяют температурные поля поршней и их учет обязателен при проектировании теплонагруженных деталей.

Ключевые слова: температура, поршень, цилиндр, моторное масло, отложения, нагар, лак, работоспособность, надежность

ANALYSIS OF DEPOSITS IN THE ENGINE

¹Kuzmin N.A., ¹Pachurin G.V., ¹Kuzmin A.N.

¹FGBOU VPO Novgorod State Technical University. RE Alekseev Nizhny Novgorod, Russia (603600, Nizhny Novgorod, GSP-41, st. Minin, 24, NSTU, dep. "PBiE»), e-mail: PachurinGV@mail.ru

One of the reserves increase operational reliability performance of internal combustion engines is to reduce carbon deposits, varnish and deposits on the surfaces of the parts in contact with the engine oil. The bases of their education are the processes of oil aging (oxidation of hydrocarbons that make up the base oil). The thermal regime of thermally loaded components influences on the processes of oxidation of the oil in the engines on the formation of deposits and their performance as a whole. They are experimentally accessed and developed patterns of the formation of deposits on the surfaces of parts automotive gasoline engines. By finite element method they are simulated temperature fields of piston engines ZMZ- 5234.10 taking into consideration deposits on the surfaces of the pistons carbon deposits, varnish and sludge. Deposits significantly alter the temperature field of the pistons and their accounting is required when designing thermally loaded components.

Keywords: temperature, the piston, the cylinder, engine oil, adjournment, deposit, varnish, working capacity, reliability.

Введение

На интенсивность протекания процессов образования отложений нагаров, лаков и осадков на поверхностях деталей двигателей внутреннего сгорания (ДВС) существенно влияет старение моторных масел при их работе. Этот процесс состоит в накоплении примесей (в том числе воды), изменении их физико-химических свойств и окислении углеводородов. Наиболее интенсивно эти процессы проявляются в быстроходных автомобильных ДВС.

Изменение фракционного состава чистого залитого масла по мере работы двигателя вызывается в основном причинами, изменяющими состав его масляной основы и процентное соотношение присадок по отдельным составляющим (парафиновым, ароматическим, нафтеновым) [4]. К ним относятся:

- процессы термического разложения масла в зонах перегрева (например, в клапанных втулках, зонах верхних поршневых колец, на поверхностях верхних поясов зеркала цилиндров). Такие процессы приводят к окислению наиболее легких фракций масляной основы или даже их частичному выкипанию;
- добавление к углеводородам основы неиспарившегося топлива, попадающего в начальные периоды пусков (или при резком увеличении подачи топлива в цилиндры для осуществления ускорения автомобиля) в маслосборник картера через зону поршневых уплотнений;
- попадание в поддон картера или маслосборник двигателя воды, образующейся при сгорании топлива в камерах сгорания (КС) цилиндров.

Если система вентиляции картера действует достаточно эффективно, а стенки картера находятся в подогретом состоянии до 90...95 °С, вода не конденсируется на них и удаляется в атмосферу системой вентиляции картера. Если температура стенок картера существенно понижена, то попавшая в масло вода будет принимать участие в процессах его окисления. Количество сконденсировавшейся воды при этом может быть весьма значительным [2]. Даже если считать, что только 2 % газов могут прорваться через все поршневые кольца, то через картер двигателя с рабочим объемом 2–2,5 л за каждые 1000 км пробега будет прокачиваться по 2 кг воды. Допустим, что 95 % воды удаляется системой вентиляции картера, то все равно после пробега на расстояние 5000 км на 4,0 л моторного масла будет приходиться около 0,5 л воды, которая при работе двигателя преобразуется антиокислительной присадкой, содержащейся в моторном масле, в примеси – кокс и золу.

По указанным выше причинам при работе двигателя температуру стенок картера нужно поддерживать достаточно высокой, а в случае необходимости – применять системы смазки с сухим картером и отдельным масляным баком.

Следует отметить, что мероприятия, замедляющие процессы изменения состава масляной основы, существенно замедляют образование нагара, лака и осадков, а также снижают интенсивность изнашивания основных деталей автомобильных двигателей [2].

Решающее влияние на образование нагаров, лаков и осадков на поверхностях деталей ДВС, контактирующих с моторным маслом, оказывает их тепловое состояние. В свою очередь, конструкционные особенности двигателей, условия их эксплуатации, режимы работы и т.д. определяют тепловое состояние двигателей и влияют, таким образом, на процессы образования отложений.

Не меньшее влияние на образование отложений в ДВС оказывают и характеристики применяемого моторного масла. Для каждого конкретного двигателя важно соответствие

рекомендованного заводом-изготовителем масла температуре поверхностей деталей, контактирующих с ним.

В данной работе проведен анализ взаимосвязи температур поверхностей поршней двигателей ЗМЗ-5234.10 и процессов образования на них отложений нагаров и лаков, а также проведена оценка осадкообразования на поверхностях картера и клапанной крышки двигателей при использовании рекомендованного заводом изготовителем моторного масла М 6з/12Г1. Этот двигатель специально разработан и устанавливается на маневренные, широко распространенные в России автобусы модельного ряда ПАЗ.

Для исследования зависимостей количественных характеристик отложений в двигателях от их теплового состояния и условий работы можно использовать различные методики, например Л-4 (Англия), 344-Т (США), ПЗВ (СССР) и др. [1, 2]. В частности, по методике 344-Т, являющейся нормативным документом США, состояние «чистого» неизношенного двигателя оценивается в 0 баллов; состояние предельно изношенного и загрязненного двигателя в 10 баллов. Аналогичной методикой оценки лакообразования на поверхностях поршней является отечественная методика ПЗВ (авторы – К.К. Папок, А.П. Зарубин, А.В. Виппер), цветовая шкала, которой имеет баллы от 0 (отсутствие лаковых отложений) до 6 (максимальные отложения лака). Для пересчета баллов шкалы ПЗВ в баллы методики 344-Т показания первой необходимо увеличить в 1,5 раза. Указанная методика аналогична отечественной методике отрицательной оценки отложений ВНИИ НП (10-балльная шкала) [4].

Для экспериментальных исследований использовали 10 двигателей ЗМЗ-5234.10. Эксперименты по исследованию процессов образования отложений проводили совместно с лабораториями испытаний легковых и грузовых автомобилей Управления конструкторско-экспериментальных работ (УКЭР) ОАО «Горьковский автомобильный завод» (ГАЗ) на моторных стендах. В процессе испытаний, кроме прочего, контролировали расходы воздуха и топлива, давление и температуру отработавших газов, температуру масла и охлаждающей жидкости. При этом на стендах выдерживали режимы: частота вращения коленчатого вала, соответствующая максимальной мощности (100% нагрузки), и поочередно в течение 3,5 ч – 70% нагрузки, 50% нагрузки, 40% нагрузки, 25% нагрузки и без нагрузки (при закрытых дроссельных заслонках), т.е. эксперименты проведены по нагрузочным характеристикам двигателей. При этом температуру охлаждающей жидкости выдерживали в интервале 90...92 °С, температуру масла в главной масляной магистрали 90...95 °С. После этого двигатели разбирали и производили необходимые замеры.

Предварительно были проведены исследования по изменению физико-химических параметров моторных масел при испытаниях двигателей ЗМЗ-5234.10 в составе автобусов

ПАЗ-3205 на автополигоне УКЭР ГАЗ. При этом выдержаны следующие условия: средняя техническая скорость 30–32 км/ч, температура окружающего воздуха 18...26 °С, пробег до 5000 км.

В результате испытаний получены результаты, согласно которым при увеличении пробегов автобусов (времени работы двигателей) увеличивалось количество механических примесей и воды в моторных маслах, его коксовое число и зольность, происходили прочие изменения (табл. 1).

Таблица 1 – Изменение параметров моторного масла двигателей ЗМЗ-5234.10

Параметр	Пробег, тыс. км		
	3,0	3,8	5,0
Механические примеси, %	0,090	0,091	0,94
Кокс, %	0,49	0,64	0,87
Зола, %	0,011	0,016	0,022
Бензин, %	1,9	2,0	2,0
Кислотность, мг/л	0,53	0,45	0,38

Нагарообразование на поверхностях днищ поршней двигателей ЗМЗ-5234.10 характеризовалось данными, представленными на рис. 1.

Из анализа рисунка следует, что при повышении температур днищ поршней от 100 до 300 °С толщина (зона существования) нагара уменьшалась с 0,45–0,50 до 0,10–0,15 мм, что объясняется выжиганием нагара при повышении температуры поверхностей двигателей. Твердость же нагара повышалась с 0,5 до 4,0–4,5 баллов по причине спекания нагара при высоких температурах.

Оценку величин отложений лаков на боковых поверхностях поршней и их внутренних (нерабочих) поверхностях производили также по 10-балльной шкале, согласно методике 344-Т, используемой во всех ведущих научно-исследовательских учреждениях страны [1]. Результаты исследований свидетельствуют о том, что лакообразование на поверхностях поршней двигателей однозначно увеличивается с увеличением температур их поверхностей. На интенсивность лакообразования влияет не только повышение температур поверхностей деталей, но и длительность ее действия, т.е. продолжительность работы двигателей [1]. При этом, однако, процессы лакообразования на рабочих (трущихся) поверхностях поршней существенно замедляются по сравнению с внутренними (нерабочими) поверхностями вследствие стирания слоя лака в результате трения.

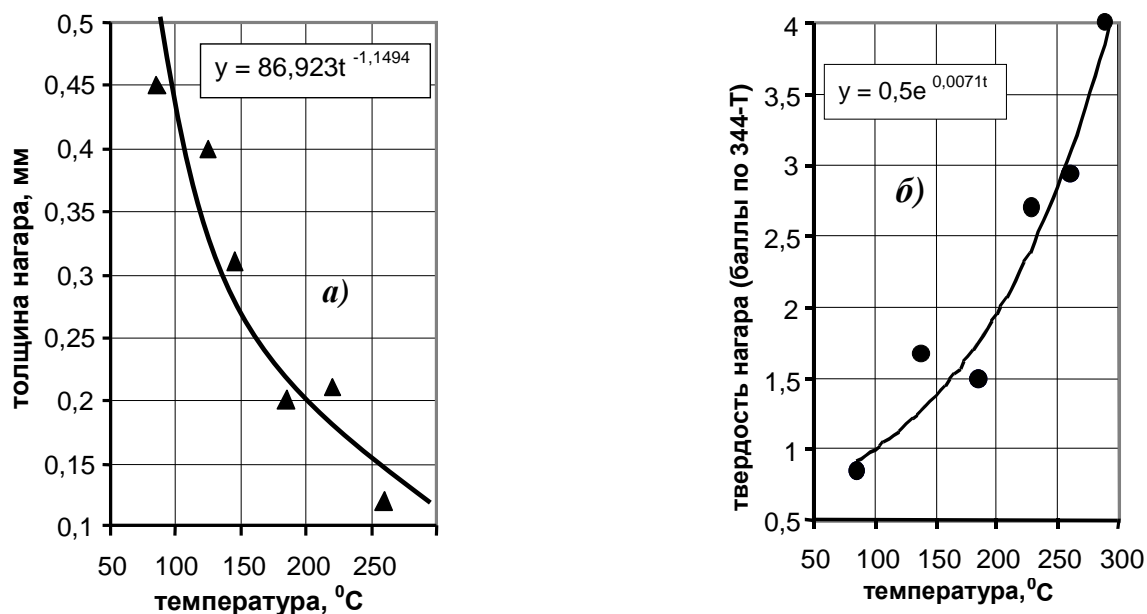


Рис. 1. Зависимости нагарообразования на поверхностях днищ поршней двигателей 3МЗ-5234.10 от их температур:
a – толщина нагара, *б* – твердость нагара

Нагаро- и лакообразование на поверхностях деталей существенно интенсифицируется при применении масел групп «Б» и «В», что подтверждено рядом исследований, проведенных на подобных и других типах автомобильных двигателей [1].

Планомерное увеличение отложений лаков на внутренних (нерабочих) поверхностях поршней вызывает уменьшение теплоотвода в картерное масло при увеличении наработки двигателей. Это вызывает, например, постепенное увеличение уровня теплового состояния двигателей по мере приближения наработки к смене масла при очередном техническом обслуживании автомобиля.

Образование осадков (шламов) из моторных масел происходит в наибольшей степени на поверхностях картера и клапанной крышки. Осадкообразование на поверхностях вышеуказанных деталей оценивали в зависимости от их температур, для измерения которых были смонтированы термпары (приварены конденсаторной сваркой): на поверхностях картера по 5 шт. у каждого двигателя, на поверхностях клапанных крышек – по 3 шт.

Как показали исследования, при повышении температур поверхностей деталей автомобильных двигателей осадкообразование на них уменьшается вследствие уменьшения содержания воды в картерном масле, что не противоречит результатам ранее проведенных экспериментов другими исследователями [1]. Во всех двигателях осадкообразование на поверхностях деталей картера оказались больше, чем на поверхностях клапанных крышек.

По сравнению с поверхностями поршней, отложения на зеркалах цилиндров являются незначительными. Соответствующие исследования по лакообразованию на зеркале цилиндра

двигателей ЗМЗ-5234.10 при работе на маслах М-8В («автол») и М6_з/12Г₁ проведены также по методике 344-Т.

Полученные результаты по взаимосвязи изменения температур основных деталей двигателей ЗМЗ-5234.10 (поршней, цилиндров, клапанных крышек и масляных картеров) и количества отложений позволили выявить закономерности процессов образования нагаров, лаков и осадков на поверхностях указанных деталей. Для этого результаты аппроксимированы функциональными зависимостями методом наименьших квадратов и представлены для примера на рис. 1. Полный пакет функциональных зависимостей имеется у авторов исследований. Полученные закономерности процессов образования отложений на поверхностях деталей автомобильных карбюраторных двигателей должны учитываться и использоваться конструкторами и инженерно-техническими работниками, занимающимися доводкой и эксплуатацией ДВС.

Двигатель автомобиля работает с наибольшей эффективностью лишь при определенных условиях. Оптимальный температурный режим теплонагруженных деталей является одним из таких условий и обеспечивает высокие технические характеристики двигателя с одновременным снижением износов, отложений и, следовательно, повышением показателей его надежности.

Оптимальное тепловое состояние ДВС характеризуется оптимальными температурами поверхностей их теплонагруженных деталей. Анализируя проведенные исследования процессов образования отложений на деталях исследуемых карбюраторных двигателей ЗМЗ и подобные исследования по бензиновым двигателям [1, 2, 4 и др.], можно с достаточной степенью точности определить интервалы оптимальных и опасных температур поверхностей деталей данного класса двигателей (табл. 2).

Таблица 2

Оптимальные и опасные интервалы температур поверхностей деталей автомобильных двигателей ЗМЗ

Наименование деталей и узлов двигателя	Опасная низкотемпературная зона, °С	Интервал оптимальных температур, °С	Опасная высокотемпературная зона, °С
Днище поршня, головка цилиндра	до 130	140...300	Более 310
Зона поршневых колец	до 70	80...220	Более 230
Юбка поршня, зеркало цилиндра	до 60	70...190	Более 200
Картер, клапанная коробка	до 40	50...140	Более 150

При температурах деталей двигателей в опасной высокотемпературной зоне

существенно увеличивается твердость нагара на деталях КС цилиндра, что вызывает процессы калильного зажигания топливовоздушных смесей, количество лаковых отложений на поверхностях поршней и цилиндров, а значит, нарушается нормальный тепловой баланс.

При температурах деталей двигателей в опасной низкотемпературной зоне увеличивается толщина нагара на поверхностях деталей, образующих КС, что приводит к возникновению детонационного сгорания топливовоздушных смесей, а также при низких температурах поверхностей деталей двигателей на них увеличивается количество осадков из моторных масел. Все это нарушает нормальную работу двигателей.

В свою очередь отложения приводят к перераспределению тепловых потоков, проходящих через поршни, и повышению температур поршней в критических точках – в центре огневой поверхности днища поршня и в канавке верхнего компрессионного кольца. Температурное поле поршня двигателя ЗМЗ-5234.10 в виде изотерм с учетом отложений нагаров и лаков на его поверхностях представлено на рис. 2.

Задачу теплопроводности методом конечных элементов решали с граничными условиями 1-го рода (ГУ 1-го рода), полученными при термометрировании поршня на режиме номинальной мощности при стендовых испытаниях двигателя [3]. Метод использовали в осесимметричной постановке для наиболее нагретого сечения поршня (ориентировано на центры тарелок выпускных клапанов). Термоэлектрические эксперименты проводили с тем же поршнем, для которого предварительно выполнены исследования температурного состояния без учета отложений. Эксперименты проводили при идентичных условиях.

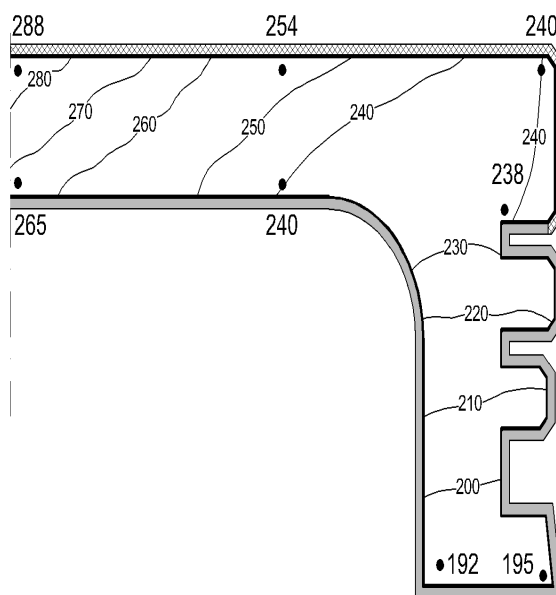


Рис. 2. Поле температур поршня двигателя ЗМЗ-5234.10 с нагарами и лаками

Предварительно двигатели работали на стенде более 80 ч, после чего наступала

стабилизация нагаров и лаков [2]. В результате температура в центре днища поршня повысилась на 24° С, в зоне канавки ВКК – на 26°С в сравнении с конечно-элементной моделью поршня без учета отложений. Значение температуры поверхности поршня над верхним компрессионным кольцом (238 °С) входит в опасную высокотемпературную зону (см. табл. 2). Близко к опасной высокотемпературной зоне и значение температуры в центре днища поршня.

На этапе проектирования и доводки двигателей влияние отложений нагаров на тепловоспринимающих поверхностях поршней и лаков на их поверхностях, контактирующих с моторным маслом, учитывается крайне редко. Это обстоятельство в совокупности с эксплуатацией двигателей в составе АТС при повышенных тепловых нагрузках увеличивает вероятность отказов – прогары поршней, закоксовывание поршневых колец и т.д. [5].

Выводы

- проведенные исследования: показали отложения (нагары, лаки, осадки) на деталях ДВС при их эксплуатации неизбежны;
- определяющее влияние на количество отложений в ДВС оказывает тепловое состояние деталей;
- разработаны закономерности процессов образования отложений на поверхностях деталей автомобильных карбюраторных двигателей;
- результаты исследований должны учитываться и использоваться специалистами, занимающимися разработкой, доводкой и эксплуатацией ДВС.

Список литературы

1. Григорьев М.А., Бурнаков Б.М., Долецкий В.А. Качество моторного масла и надежность двигателей. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 231 с.
2. Зеленцов В.В., Крупа В.В. Эксплуатационные свойства и тепловые режимы поршневых автомобильных двигателей внутреннего сгорания: Учеб. пособие. – Нижний Новгород: НГТУ, 2002. – 72 с.
3. Кузьмин Н.А. Профилирование головок поршней ДВС // Изв. Вузов. Машиностроение. – 2006. – №12. – С. 41–46.
4. Кузьмин Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности: Учеб. пособие. – М.: ФОРУМ, 2011. – 208 с.
5. Кузьмин Н.А., Борисов Г.В. Научные основы процессов изменения технического состояния автомобилей; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2012. – 270 с.

Рецензенты:

Михаленко М.Г., д.т.н., профессор, директор ИФХТиМ, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ), г. Нижний Новгород.

Молев Ю.И., д.т.н., профессор кафедры «Строительные и дорожные машины» (СДМ), Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ), г.Нижний Новгород.