

ТЕХНОЛОГИЯ ОБКАТКИ «АВТОМИНЕРАЛ» ДЛЯ ВЫСОКОБОРОТНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*В.Ф. Городецкий, И.Ф. Пустовой; НПО «Руспромремонт»
А.Ю. Шабанов, А.А. Сидоров; СПбГПУ*

Предлагается опыт применения обкаточной технологии «Автоминерал» как один из возможных технологических инструментов, позволяющих управлять процессом формирования оптимального профиля поверхностей трения при значительном ускорении и повышении качества обкатки с использованием одноименного обкаточного состава.

Характер износа (скорость и величина) пар трения ДВС в период обкатки является одним из основных факторов, влияющим на формирование и характер изменения поверхностей пар трения во время эксплуатации. В первые часы работы все пары трения двигателя работают в жестких условиях граничного трения, что приводит к резкому росту вероятности возникновения значительного числа дефектов трения, существенно ухудшающих условия смазывания в дальнейшем. Это влияет как на скорости износа его основных узлов, так и на экономичность двигателя по расходу топлива и масла на основном участке его эксплуатации. Одним из путей реального повышения технико-экономических показателей и ресурса ДВС является повышение качества его обкатки.

В настоящее время большинство двигателестроительных предприятий использует укороченные циклы обкатки двигателей, которые могут выявить наличие лишь серьезных дефектов в паре трения, но не позволяют довести форму поверхностей до конфигурации, обеспечивающей минимальные износы при дальнейшей эксплуатации. Основной цикл обкатки осуществляется в начальном периоде эксплуатации двигателя. Такая ситуация характерна для массового производства и в первую очередь для предприятий отрасли автомобильной промышленности, где большие объемы не позволяют реализовать длительный цикл обкатки двигателей по сложной программе на заводских стендах. С другой стороны, не все потребители способны реализовать рекомендованный цикл обкатки, что приводит

к резкому снижению ресурсных, мощностных и экономических показателей части двигателей и увеличению количества гарантийных и послегарантийных ремонтов.

Одним из возможных технологических инструментов, позволяющих управлять процессом формообразования при значительном ускорении и повышении качества обкатки, являются специальные обкаточные составы. В таких условиях существенно проще выдержать заданную технологию обкатки, вести этот сложный технологический процесс под контролем и тем самым исключить или резко понизить вероятность повреждения узлов трения двигателя на начальном этапе его эксплуатации.

В статье предлагается опыт применения обкаточной технологии «Автоминерал» (АМ) с использованием одноименного обкаточного состава.

Обкаточный состав «Автоминерал» представляет вариант геомодификатора трения, представляющий собой мелкодисперсный порошок серпентинита, обогащенный специальными катализаторами и добавками-протекторами, активизирующими процесс формирования защитного металлокерамического слоя на поверхностях трения и защищающих их от повреждений во время обкатки. Дисперсность состава и его концентрация была специально подобрана для обеспечения максимальной эффективности процессов геомодификации для узлов трения быстроходных автомобильных бензиновых и дизельных двигателей в ходе длительной серии стендовых испытаний.

Основная серия стендовых испытаний обкаточной технологии «Автоминерал» проведена на базе лаборатории кафедры ДВС Санкт-Петербургского Государственного Политехнического университета.

В качестве объекта испытаний использовался автомобильный четырехтактный бензиновый двигатель ЗМЗ-402 (4Ч 9,2/9,2). Выбор объекта испытаний был обусловлен конструктивными особенностями этого двигателя, такими как наличие гильз в блоке цилиндров, что позволяло без больших затрат менять пары трения во время пе-

реборок двигателя при испытании различных вариантов технологических процессов и обкаточных составов.

Сравнение вариантов обкаточных технологий выполнялось по результатам испытаний двух двигателей.

Первый двигатель, принятый за базовый, прошел процедуру обкатки по варианту кратковременной заводской стендовой с последующей имитацией пробега автомобиля до 5000 км по циклу обкатки, с ограничениями режимов эксплуатации, рекомендованными в инструкции по эксплуатации. При этом путем периодического измерения момента трения методом прокрутки электромотором нагрузочного устройства на заданных режимах работы контролировался ход процесса обкатки. Начальная приработка узлов трения считалась законченной в тот момент, когда величина мощности механических потерь на заданных режимах стабилизировалась.

Второй двигатель испытывался в два этапа: сначала использовалась процедура кратковременной заводской обкатки, а затем — процедура обкатки по технологии «Автоминерал». Контроль динамики обкатки проводился по аналогичному методу — путем периодического измерения мощности трения.

Анализ результатов обкатки осуществлялся на базе сравнения итоговых технико-экономических показателей двигателей, полученных на основе измерений мощности двигателей, расхода топлива, токсичности отработавших газов, мощности механических потерь при работе на серии нагрузочных характеристик при различных частотах вращения коленчатого вала. Кроме того, весовым методом определялось суммарное содержание продуктов износа в пробах моторного масла, отобранных по окончании испытаний, а методом лунок измерялся износ основных деталей узлов трения.

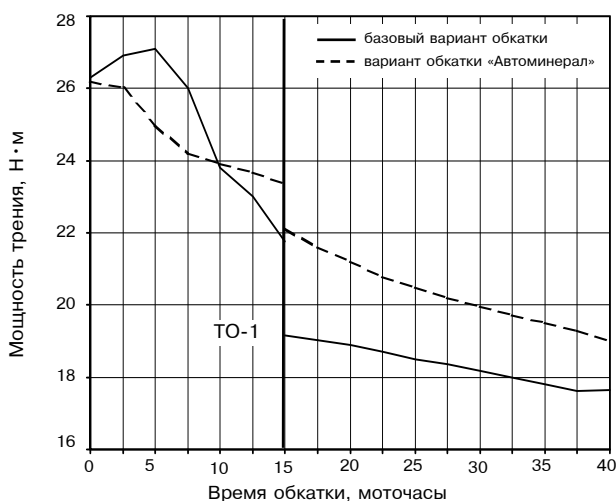


Рис. 1. Динамика изменения момента трения двигателя ЗМЗ-402 в процессе двух вариантов обкаточных технологий

Проводился контроль микропрофилей и микрофотографирование поверхностей вкладышей подшипников коленчатого вала и поршневых колец.

На рис. 1 представлена динамика изменения мощности механических потерь двигателя ЗМЗ-402 для базовой процедуры обкатки и обкатки с использованием технологии «Автоминерал». Из полученных результатов видно, что при использовании технологии «Автоминерал» на начальной стадии момент трения существенно возрастает. Это объясняется развитием процесса геомодификации, представляющем собой в данном случае активную микрошлифовку поверхностей трения. Но начиная с определенного времени, в нашем случае через 3–4 часа, начинается резкое падение момента трения. В итоге, через 15 часов работы к моменту замены масла механические потери в двигателе, обкатанном с применением состава «Автоминерал», уже на 15–17 % ниже, чем у двигателя, обкатанного по базовой технологии. После замены масла динамика изменения момента трения существенно уменьшается, что говорит о практическом завершении начальной приработки, в то время как у базового двигателя процесс приработки еще далеко не завершен.

Сравнение расходов топлива по завершении цикла испытаний показывают, что удельный расход топлива у двигателя, обкатанного по технологии «Автоминерал», значительно ниже, чем у двигателя, обкатанного по базовой технологии (рис. 2). Особенно это заметно в зоне малых нагрузок, где роль механических потерь в балансе мощности двигателя особенно велика.

Общий уровень качества приработки поверхностей трения в поршневой группе двигателя анализировался на основании контроля параметров

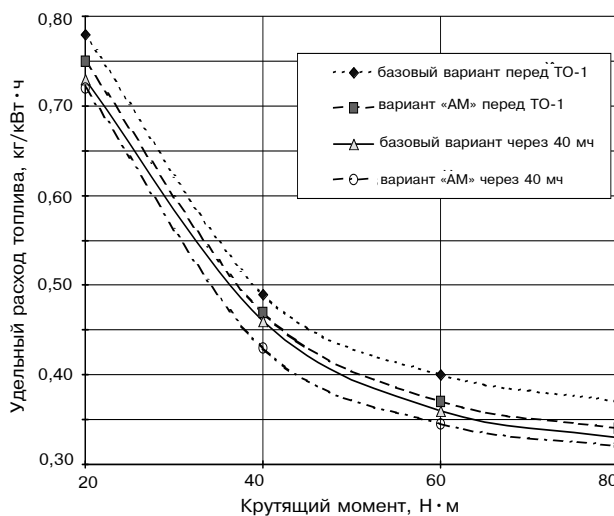


Рис. 2. Изменение удельного расхода топлива двигателей ЗМЗ-402, обкатанных с использованием двух вариантов обкаточных технологий

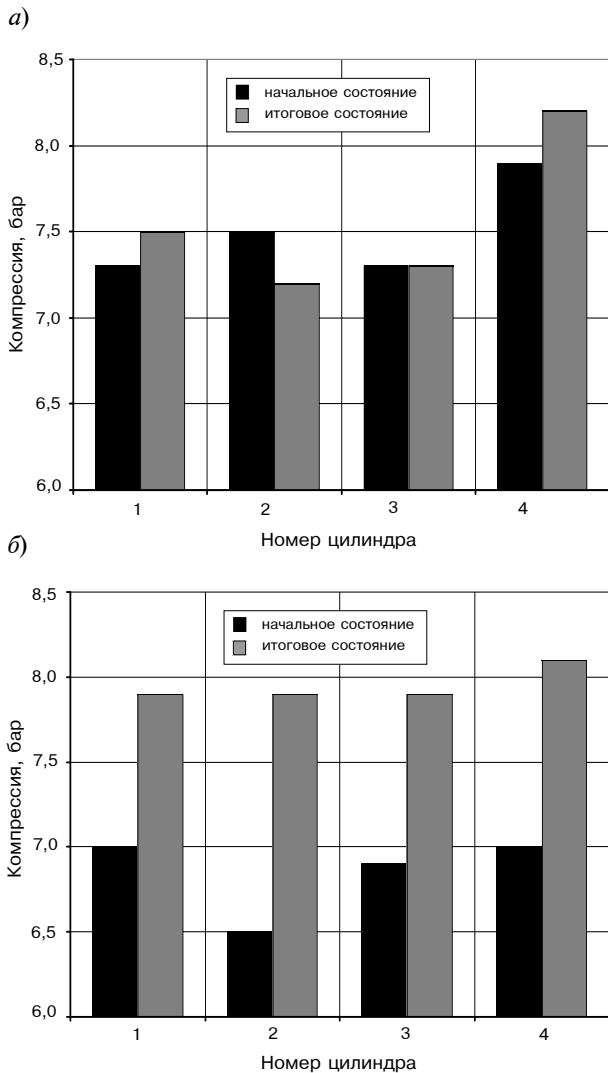


Рис. 3. Изменение компрессии в цилиндрах двигателя ЗМЗ-402 в процессе базового цикла обкатки (а) и цикла обкатки «Автоминерал» (б)

герметичности ЦПГ (рис. 3). Из этих результатов видно, что по истечении времени работы двигателей соответствующего 5000 км пробега при базовом варианте обкатки полной приработки поршневых колец и гильз цилиндра не достигнуто: все цилиндры имеют разную компрессию с максимальным разбросом значений между вторым и четвертым цилиндрами, равным примерно 1 бар. В то время как для варианта, обработанного составом «Автоминерал», состояние герметичности по трем цилиндрам практически полностью выровнялось, имеется увеличение компрессии лишь на четвертом цилиндре примерно на 0,4 бар.

Качество обкатки существенно повлияло и на токсичность отработавших газов, особенно по компонентам СН и NO_x . Из графиков, представленных на рис. 4–5, видно, что снижение уровня содержания остаточных углеводородов в отработавших газах после обкатки двигателя по технологии «Автоминерал» составило 15–22 %, по окислам

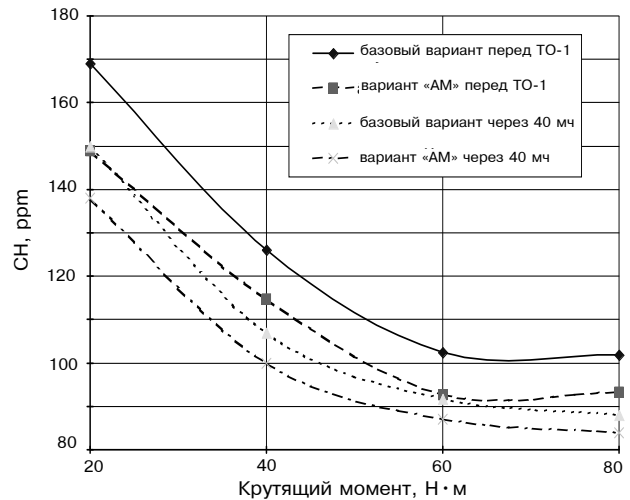


Рис. 4. Изменение содержания СН в отработавших газах двигателей ЗМЗ-402, обкатанных с использованием двух вариантов обкаточных технологий

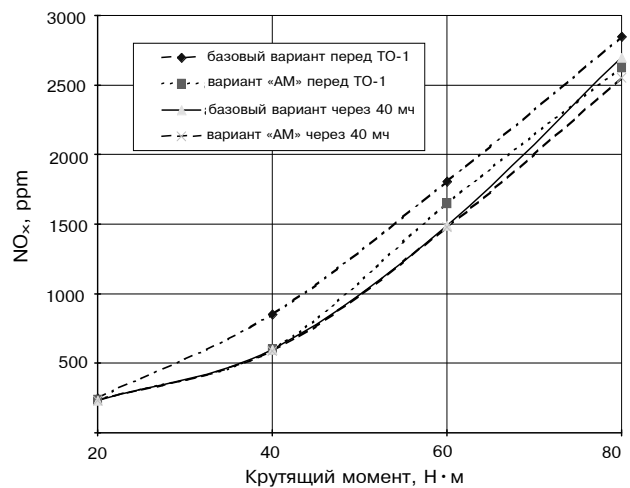


Рис. 5. Изменения содержания NO_x в отработавших газах двигателей ЗМЗ-402, обкатанных с использованием двух вариантов обкаточных технологий

азота — 10–15 % в зависимости от режима работы двигателя.

Для проверки применимости технологии «Автоминерал» в высокооборотных дизельных двигателях были проведены сравнительные заводские испытания на Минском моторном заводе. В ходе этих испытаний одновременно была произведена обкатка двух дизелей Д245.7 по базовой заводской технологии и с использованием технологии «Автоминерал». Цикл стендовой обкатки каждого дизеля включал 60 моточасов.

Контроль технико-экономических показателей дизелей по окончании испытаний показал высокую эффективность технологии «Автоминерал» и для этого типа двигателей. Так, на рис. 6, 7 приведены данные изменения крутящего момента и удельного расхода топлива обоих дизелей при их работе по внешней скоростной характеристике.

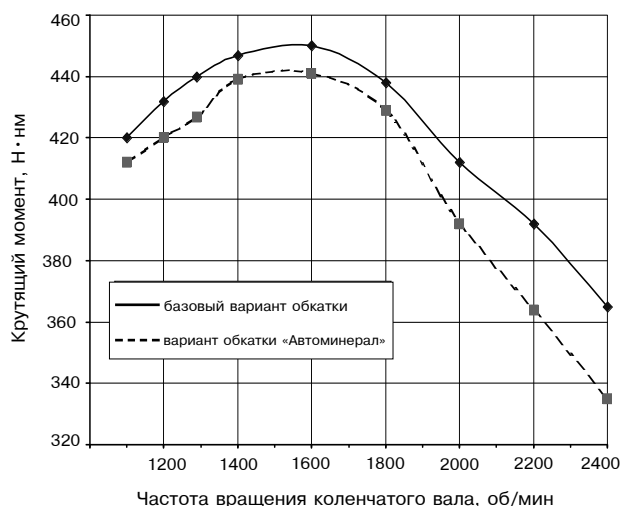


Рис. 6. Изменение крутящего момента двигателей Д245.7, обкатанных с использованием двух вариантов обкаточных технологий; внешняя скоростная характеристика (данные ММЗ)

Проведенный анализ изменения параметров двигателя после цикла обкатки «Автоминерал» позволяет сделать следующие выводы о механизмах влияния рассматриваемой технологии на параметры рабочего процесса и процесса трения в ДВС.

Очевидно, что повышение мощности и эффективности двигателей является следствием существенного уменьшения мощности механических потерь в узлах трения двигателя, в первую очередь, в цилиндропоршневой группе и подшипниках коленчатого вала, что определяется несколькими факторами.

Во-первых, значительное влияние оказывает улучшение качества поверхностей трения, получаемое после обкатки. Это способствует стабилизации условий смазывания сопрягаемых поверхностей трения двигателя, повышению их несущей способности и тем самым — уменьшению протяженности зон граничного трения.

Во-вторых, снижение механических потерь является следствием снижения суммарной теплопроводности стенок цилиндров двигателя из-за существенно более низкой теплопроводности металлокерамического защитного слоя, формируемого на поверхностях трения. Это приводит к некоторому повышению температур в зонах трения, следовательно — снижению вязкости моторного масла и уменьшению мощности гидродинамического трения, прямо зависящего от вязкости масла.

В-третьих, на снижение мощности трения и скоростей износа в парах трения влияет уменьшение коэффициентов трения и повышение

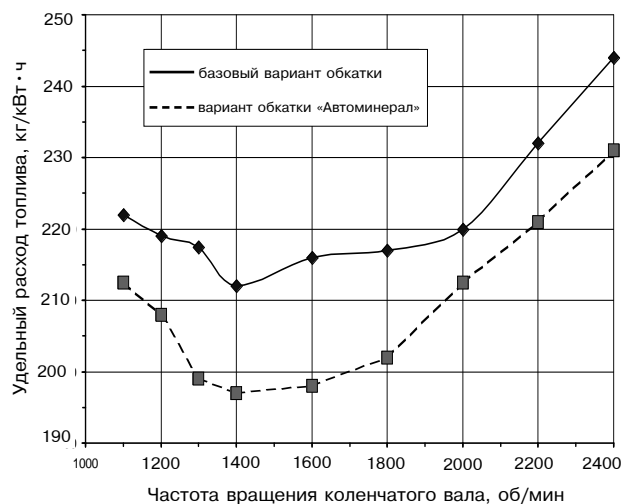


Рис. 7. Изменение удельного расхода топлива двигателей Д245.7, обкатанных с использованием двух вариантов обкаточных технологий; внешняя скоростная характеристика (данные ММЗ)

износостойкости поверхностей после их геобработки.

Определенный вклад в улучшение экономичности двигателя вносит и улучшение газоплотности цилиндропоршневой группы, дающее некоторое повышение индикаторного КПД цикла.

Также влияет и определенное уменьшение пленочной фазы смесеобразования из-за некоторого роста температур деталей цилиндропоршневой группы, что способствует повышению скорости и полноты сгорания топлива.

Последние факторы, безусловно, в значительной степени определяют и эффект снижения токсичности отработавших газов. Но в большей степени на частичных режимах снижение содержания СН и NO_x, а также дымности отработавших газов для дизельных двигателей определяется необходимостью подачи меньшей цикловой подачи топлива для достижения заданной мощности в результате уменьшения механических потерь в двигателе.

Обкаточная технология «Автоминерал» уже в течение двух лет используется для обкатки автомобильных двигателей в сети региональных представительств ОАО «Руспромавто», что позволило существенно повысить надежность и эффективность двигателей и уменьшить число гарантийных ремонтов. В настоящее время технология полностью апробирована на высокооборотных автомобильных двигателях, но нет никаких препятствий для ее модификации при использовании на любых других видах поршневых тепловых двигателей или компрессоров.