

СОВРЕМЕННОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ

О.Н. Цветков, д.т.н.,
А.Л. Максимов, д.х.н.

Институт нефтехимического синтеза им. А.И. Топчиева РАН, Москва

Краткое аналитическое обозрение состояния современного производства и применения моторных масел для дизелей показывает определенный прогресс в течение проходящего десятилетия. Освоение новых технологий базовых масел и смазочных материалов соответствует глобальной тенденции улучшения эколого-экономических характеристик автотракторных, тепловозных и судовых дизелей. В России выводятся из эксплуатации маслостанции с I группой нефтяных базовых масел и создаются производства гидрокрекинговых масел II и III групп. Разработаны новые моторные масла для дизелей, существенная часть которых применяется на практике. Отмечено отставание российской химмотологической составляющей масловедения от зарубежных систем испытаний, отсутствие современного стендового инструментария для сертификации дизельных масел по применяемым в международной практике спецификациям. Основным направлением дальнейшего развития моторных масел для дизелей является постоянное улучшение их эксплуатационных характеристик за счет модернизации состава и совершенствования методов оценки.

Моторные масла для автотракторных, судовых, тепловозных и промышленных дизелей являются наиболее объемным типом из производимых и потребляемых в России смазочных масел с присадками. В мировой практике дизельным маслам уделяется большое внимание и постоянно обновляется их ассортимент с повышением уровня эксплуатационных свойств путем введения новых категорий в соответствующие спецификации и ужесточением процедуры их испытаний моторными методами при сертификации.

Дизели, как силовые агрегаты с наиболее высоким КПД и большим крутящим моментом при низких оборотах, занимают среди тепловых двигателей ведущее положение в коммерческом наземном и морском транспорте, сельскохозяйственном оборудовании, промышленном и дорожном строительстве, добыче углеводородов и других полезных ископаемых, локальной генерации электроэнергии, военном деле. Несмотря на различные инициативы по переходу отдельных видов транспортной техники на сжиженный и

сжатый природный газ или электричество, с учетом существующей в подавляющем числе стран разветвленной доступной квалифицированной инфраструктуре, дизели сохраняют и в ближайшие два-три десятилетия скорее всего приумножат свое значение. При этом не исключено по экологическим соображениям некоторое снижение их применения в городском пассажирском транспорте из-за появляющихся локальных ограничений и расширения использования электромобилей, батарейных и связанных с водородными технологиями [1]. Стабильное производство и интенсивное функционирование огромного парка дизелей в эксплуатации обуславливает гарантированный рынок для дизельных масел на несколько десятилетий вперед.

Основной пул дизельных масел, вырабатываемых на российских предприятиях и в зарубежных компаниях, составляет $20 \pm 5\%$ от общего объема производимых смазочных материалов, который в последние годы находится на уровне 38 млн т/г. Примерное глобальное распределение потребления дизельных масел можно представить следующим образом: автотракторные — 5,5 млн т/г, судовые — 2,3 млн т/г, тепловозные — 1,2 млн т/г, прочие — 0,5 млн т/г. В каждой стране в зависимости от развитости того или иного направления хозяйственной деятельности распределение применения масел своеобразно. Для России характерно потребление автотракторных масел около 60 %, тепловозных — 20 %, судовых — 15 %, прочих — 5 % от общего расхода дизельных масел, составляющее в среднем 250–300 тыс. т/г. При этом имеется ввиду относительно малое использование дизелей в российском легковом транспорте из-за особенностей климатических условий и ежегодного дефицита предложения на розничном рынке зимнего дизельного топлива в позднесенний период. В 2020 г. на спрос и потребление дизельного топлива и соответственно на моторные масла повлияла пандемия коронавируса, поэтому ожидаемого ежегодного повышения потребления дизельных масел на 0,2 % не предвидится, по крайней мере в тех странах и в России в том числе, в которых руководству не удалось установить контроль над распространением COVID-19, как это было сделано в Китае.

**Типичные компоненты
моторных масел для дизелей, %масс.**

Дисперсанты	2–10
Детергенты	2,5–5
Противоизносные	1–3
Антиоксиданты	1,5–3
Модификаторы трения	0–1
Модификаторы вязкости	0–3
Противопенные	20–300 ppm
Депрессанты	0–0,5
Базовое масло	до 100

Поскольку в соответствии с основополагающими концепциями масловедения эксплуатационные свойства дизельных масел пропорциональны уровню качества базовых компонентов, присадок и модификаторов, уместно рассмотреть реализуемые изменения этих параметров. Прежде всего это касается базовых масел. В связи с повышением требований к автомобилям по выбросам окислов серы и ограничением выбросов твердых частиц, наряду с последовательным снижением содержания серы в топливе (до 10 ppm), возникла необходимость в уменьшении концентрации серы и ненасыщенных углеводородов в базовых компонентах моторных масел, содержание которых в маслах селективной очистки группы I по классификации API практически не лимитируется. Масловедение в короткий срок справилось с этой проблемой — несколькими зарубежными компаниями разработаны и внедрены в крупнотоннажное производство каталитические процессы гидрооблагораживания масляных рафинатов селективной очистки до масел II группы по классификации API (сера 0,03 %масс. насыщенных 90 %масс.), гидрокрекинга вакуумного газойля с последующей гидроизомеризацией и финишной гидроочисткой до масел III группы (сера 0,03 %масс. насыщенных не менее 90 %масс., индекс вязкости 120 и выше). Дополнительно введена в эксплуатацию в 2011 г. в Катаре единственная пока в мире дорогостоящая установка синтеза изопарафиновых масел высококачественной III+ группы из природного газа по технологии «газ — в жидкость» компании «Shell» производительностью 650 тыс. т/г. Ресурс углеводородных базовых компонентов расширяют поли- α -олефиновые масла (ПАОМ), текущее потребление которых находится на уровне 620 тыс. т/г. В России на семи маслблоках вырабатываются масла I группы, на трех (Волгоград, Нижнекамск, Ярославль) — масла II и III групп, полностью насыщая потребности отечественного производства готовых смазочных материалов и обеспечивая импорт, на Нижнекамском заводе синтетических масел возобновляется производство. Компаниями ведутся работы по созданию отечественных катализаторов гидрокрекинга вакуумного газойля, а в ИНХС РАН продолжаются исследования по совершенствованию технологии ПАОМ [2]. Из приведенных данных следует, что производство моторных масел для дизелей полностью обеспечено базовыми компонентами как с количественной, так и с качественной сторон.

При формулировании смазочных материалов, помимо базовых масел, требуются разнообразные присадки, поэтому мировое производство присадок превышает 3 млн т/г и имеет тенденцию к даль-

нейшему совершенствованию и увеличению. Среди зарубежных компаний наиболее известными производителями присадок для моторных масел являются «Infineum», «Lubrizol», «ChevronOronite», «Afton», «BASF», «Evonik». В композициях моторных масел для дизелей используют в основном диспергирующие, моющие, антиокислительные, противопенные присадки, а также модификаторы вязкости и депрессанты. Примерное содержание отдельных присадок в дизельных маслах показано в табл. 1.

Диапазоны концентрации присадок, указанные в табл. 1, говорят о большом разнообразии дизельных масел и самих присадок. К примеру, среди детергентов находятся сульфонатные, алкилфенольные и алкилсалицилатные присадки, которые внутри себя делятся на нейтральные, щелочные, высокощелочные и сверхщелочные, антиокислительные — экранированные алкилфенолы, диалкилдитиофосфаты, диалкилариламины и так далее по всем типам присадок [3, 4]. Большинство из перечисленных зарубежных компаний обладают технологиями нескольких типов присадок и пакетов присадок.

В продекларированном, но пока несостоявшемся Союзном государстве России и Белоруссии продолжают действовать производства присадок на НЗМП (Новокуйбышевск, Роснефть), Омском НПЗ (Газпромнефть), Стерлитамакском химическом заводе и ЛЛК-НФТАН (Новополоцк, Лукойл), а также в нескольких самостоятельных предприятиях: Квалитет (г. Люберцы), Химпром (г. Чебоксары), Пластнефтехим (г. Иваново), Нортон (Санкт-Петербург) МАКС-НН (г. Дзержинск), вырабатывающие алкилфенольные, алкилсалицилатные, диалкил(арил)дитиофосфатные, сульфонатные нефтяные и синтетические, сукцинимидные, полисульфидные, полиметакрилатные присадки и пакеты присадок для моторных и трансмиссионных масел. В целом перечисленные предприятия удовлетворяют потребности отечественного производства масел несколько более чем на две трети. Высокотемпературные анти-

окислители, углеводородные загущающие присадки, часть полиметакрилатных загустителей и дисперсантов, большая часть синтетических сульфонатов и пакетов присадок для моторных масел, в особенности малозольных, высших эксплуатационных групп импортируются преимущественно из стран ЕС [2].

Значительное разнообразие дизельных масел связано со многими типами дизелей, среди которых присутствуют двух- и четырехтактные, рядные, V- и X-образные, оппозитные и звездообразные, тронковые и крейцкопфные, мало-, средне- и высокооборотные. В автомобильной технике применяются преимущественно четырехтактные рядные и V-образные высокооборотные дизели, в тракторной — рядные и V-образные среднеоборотные и высокооборотные дизели, в транспортной спецтехнике — четырехтактные рядные, V- и X-образные средне- и высокооборотные, в локомотивах — двух- и четырехтактные, рядные, V-образные и оппозитные быстроходные, в судовых силовых установках — двух- и четырехтактные, рядные, V-образные, оппозитные и звездообразные, тронковые и крейцкопфные, мало-, средне- и высокооборотные дизели. Мировое моторостроение неустанно работает над созданием все более совершенных дизелей, под воздействием конкурентных факторов они постоянно усложняются и форсируются в отношении увеличения мощностных и массогабаритных характеристик, в связи с чем повышаются требования к смазочным материалам, которые реализуются в эволюции композиций и формулировании новых спецификаций эксплуатационных свойств дизельных масел.

Из всех направлений применения дизелей наиболее динамично развивается автомобильное дизелестроение, стимулирующее создание новых категорий эксплуатационных свойств дизельных масел. По выпуску автомобилей ведущей страной в последнее десятилетие стал Китай (более 20 млн/г, четверть мирового производства), за ним идут США и Япония. Мировой автомобильный парк насчитывает 1,2 млрд единиц и стремится к увеличению в 2040 г. до 2 млрд. Для идентификации дизельных масел по вязкости используется классификация по SAE, а по уровню эксплуатационных свойств в большинстве стран применяется классификация API, в ЕС — классификация Европейской ассоциации производителей автомобилей ACEA, в Японии — Японский стандарт масел JASO, в РФ — ГОСТ 17479.1–2015 при применении масел в русской технике и API (реже ACEA, стандарт ААИ) при применении в зарубежных дизелях. Современные автомобильные дизели достигают по мощности 750 л. с., крутящему моменту до 3500 Н·м, рабочему объему 16 л,

давлению в цилиндрах при сжатии 27 бар (50 лет назад давление в цилиндрах дизеля 15 бар), расхода масла 0,05 г/кВт·ч, интервала замены масла 150 000 км, ресурса двигателей 1 600 000 км. Действующее и периодически ужесточающееся законодательство по выбросам вредных веществ в атмосферу является определяющим фактором, влияющим на технологии моторостроения и производство эффективных смазочных материалов, которые существенно расширяют технологический потенциал дизелестроения.

За последнее двадцатилетие в США разработаны и нашли применение поочередно 5 новых спецификаций дизельных автомобильных масел: СН, СI, СJ, СК и F-4A, повышающийся уровень эксплуатационных свойств которых соответствует результатам комплекса специально разработанных лабораторных, лабораторно-стендовых и моторных испытаний, позволяющего однозначно соотнести получаемые данные испытаний с требованиями конкретного двигателя, режимами его работы и условиями эксплуатации автомобиля [5]. Масла категории СН-4 применяются в высокооборотных четырехтактных дизелях, работающих на топливе с содержанием серы до 0,5 %масс. производства с 1998 г., работающих в жестких условиях эксплуатации, они превосходят по эксплуатационным свойствам масла категорий CF-4 и CG-4 и могут их заменять. Масла категории СI-4 применяются в высокооборотных четырехтактных дизелях, работающих на топливе с содержанием серы до 0,5 %масс. производства с 2004 г. в более жестких условиях эксплуатации, нежели смазываемые маслами СН-4. Они превосходят по эксплуатационным свойствам масла категорий CF-4, CG-4 и СН-4, могут их заменять. Масла категории СJ-4 применяются в высокооборотных четырехтактных дизелях, работающих на топливе с содержанием серы до 0,5 %масс. производства с 2007 г. в более жестких условиях эксплуатации, нежели смазываемые маслами СI-4, они превосходят по эксплуатационным свойствам масла категорий CF-4, CG-4, СН-4 и СI-4, могут их заменять. Масла категории СК-4 применяются в высокооборотных четырехтактных дизелях, работающих на топливе с содержанием серы до 0,05 %масс. производства с 2016 г. в более жестких условиях эксплуатации, нежели смазываемые маслами СJ-4, они превосходят масла СI-4 и СJ-4 по чистоте цилиндров, снижению износа поршневых колец, гильз и ГРМ, стабильности к окислению, способности сохранять вязкость при образовании сажи, могут их заменять. Масла категории FА-4 предназначены для применения в высокооборотных четырехтактных дизелях, работающих на топливе с содержанием серы до 0,0015 %масс. производства с 2017 г., работающих в жестких

условиях эксплуатации и отвечающих требованиям стандарта по ограничению эмиссии парниковых газов, особенно эффективно поддерживают срок службы систем очистки отработанных газов, в которых применяются фильтры твердых частиц, каталитические нейтрализаторы, по эксплуатационным свойствам равноценны маслам категории СК-4.

Аналогичные тенденции повышения внимания к чистоте поршней, борьбе с окислением, экономии топлива, снижению влияния сажи, увеличению сроков замены присутствуют и в европейских (E-6, E-9, дополнительно совместимые с биодизельным топливом) и японских (DH-2, DH-2F) спецификациях. Спецификации FA-4 и DH-2F являются первыми в новых классификациях США и Японии смазочных материалов, ориентированных на экономию топлива. Подобную классификацию намерена ввести и ACEA. Вместе с тем, ориентированная на экономию топлива спецификация FA-4 содержит интервал динамической вязкости при 150 °C и скорости сдвига 10^6 c^{-1} (HTHS) от 2,9 до 3,2 МПа для масел 5W-30 и 10W-30, определенно самый лучший в категории API для масел, предназначенных для тяжелых условий эксплуатации, поэтому эти масла не взаимозаменяемы маслами предшествующих категорий. С учетом того, что наиболее часто применяемым по классу вязкости дизельным маслом является 15W-40, в автомобильной отрасли существуют понятные сомнения по поводу перехода на маловязкие масла, даже принимая во внимание их пользу для экономии топлива. Возможно, замедление перехода заключается в том, что это избирательный процесс, требующий синхронизации применения маловязких масел с внесением соответствующих изменений в конструкцию дизеля. С другой стороны, пониженная вязкость требует новой улучшенной рецептуры смазочного масла. По крайней мере практически все ведущие мировые производители смазочных масел имеют в своем ассортименте дизельные масла классов вязкости 5W-30 и 10W-30, а для применения в северных районах Канады, на Аляске и в Скандинавских странах — синтетические или полусинтетические масла 0W-30. Наряду со снижением вязкости для дизельных масел вырисовывается экологическое требование и по снижению зольности, поскольку высокая зольность сокращает продолжительность эффективной работы сажевых фильтров, а при принятии в ЕС с осени 2015 г. стандарта Евро-6 применительно к автомобилям с дизелями, спрос на малозольные масла для заводской заливки и послепродажного обслуживания резко возрастет.

Российские вертикально интегрированные компании в производстве смазочных материалов

«Газпромнефть», «Лукойл» и «Роснефть» следуют в своей деятельности мировым трендам и имеют в ассортиментах марки моторных масел на нефтяной, полусинтетической и синтетической основах, соответствующие указанным классам по вязкости и группам эксплуатационных свойств, при этом сертифицированные в зарубежных испытательных компаниях и у наиболее представительных изготовителей автомобилей. ЯМЗ и КАМАЗ успешно работают над созданием новых высокооборотных дизелей для магистрального автотранспорта, отвечающих требованиям стандарта Евро-5, с прицелом на применение моторных масел класса вязкости 5W-30, обеспечивающего заметную экономию топлива в сравнении с наиболее часто применяемым дизельным маслом 15W-40. На русском Севере в дизелях автотракторной техники в основном применяются масла класса вязкости 0W-30, преимущественно импортных. Вместе с тем, в портфелях наших компаний, например, «Лукойл», представлены эти моторные масла, сертифицированные по API категории от CF-4 до CI-4. Компании с меньшим экономическим ресурсом проводят испытания в Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ), инструментально на предприятиях — АО «НАМИ-ХИМ», АО «АвтоВАЗ», ПАО «КАМАЗ», ПАО «Автодизель» ЯМЗ, где получают сертификаты по стандарту ААИ с рекомендациями по примерному соответствию прошедших испытания с положительным результатом масел группам по API или ACEA.

В России эксплуатируется более 1,5 млн единиц возобновляемой автотракторной, тепловозной, судовой, дорожной, строительной и специальной техники, в дизелях которых применяются моторные масла, маркируемые по ГОСТ 17479.1–2015. В соответствии с данным стандартом эти моторные масла для дизелей обозначаются буквами В₂, Г₂, Д₂ и Е₂, характеризующими их повышающийся уровень эксплуатационных свойств по мере продвижения по русской азбуке, как и в API по латинскому алфавиту. Изготовители автомобильной техники и производители моторных масел тяготеют к переходу на классификацию по API или ACEA, частично это уже произошло и, по всей видимости, этот процесс де-факто для широкого круга моторных масел в недалеком будущем завершится. Однако в России отсутствует возможность определения соответствия масел по комплексу испытаний, регламентируемых этими классификациями. Хотя в современной редакции ГОСТ 17479.1–2015 допускается обозначать классы вязкости моторных масел по SAE, многие производители, испытательные лаборатории и практически все потребители не имеют возможности определить показатели вязкости в полном объеме требований SAE

ввиду малой доступности в определении вязкости при HTHS, в связи с чем обозначение масел по SAE отдельными брендинговыми предприятиями не всегда вполне корректно.

Ввиду необходимости соблюдения технологической и экономической безопасности сохранение классификации моторных масел по ГОСТ 17479.1, потребление которых в 2019 г. составило более 150 тыс. т, принципиально важно. Масла, маркируемые по этому ГОСТу, проходят испытания преимущественно в 25 ГосНИИ химмотологии МО РФ и АО «НАМИ-ХИМ» в соответствии с программой, включающей лабораторные и стендово-лабораторные методы с последующими испытаниями на заводах-изготовителях дизелей; лабораторные испытания может также проводить АО «ВНИИ НП». Пока имеется возможность проводить испытания моторных масел, маркируемых по этому стандарту, с эксплуатационными свойствами не выше группы D₂, примерно соответствующая группе SE по API, которая в настоящее время за рубежом не применяется. Масла эксплуатационной группы D₂, в том числе синтетическое универсальное моторно-трансмиссионно-гидравлическое M-4з/8ДС для промышленных тракторов [6], были разработаны еще в 1980-е годы. В новой редакции ГОСТ 17479.1–2015 группа эксплуатационных свойств E₂ получила современную трактовку, указывающую на возможность достижения максимального уровня эксплуатационных свойств моторных масел в рамках применяемой классификации и реальных ресурсов. Поэтому требуется внесение изменения в квалификационный метод 540/1-11 испытания моторных масел на наддувном дизеле Д-245, указанном в ГОСТ 17479.1–2015, с установлением оценивающих показателей по мощным свойствам для более высокой группы, чем для группы D₂. Для этой группы указана норма суммарной загрязненности поршней в баллах 4,5–7,0 включительно, а для группы E₂, примерно соответствующей группе CF-4 по API, можно установить норму «менее 4,5 баллов». Разумеется, необходимо провести испытания моторных масел, аналогичных группе E₂ с соблюдением всех параметров и инструкций (или ввести новые) метода испытаний. Одновременно следует определить и противозносные свойства, которые в соответствии с процедурой рассматриваемого метода оцениваются факультативно. Поскольку обретение стендового метода оценки моторных масел группы E₂ будет стимулировать дальнейшую разработку высококачественных моторных масел для отечественных дизелей русским химмотологам целесообразно сосредоточиться на модернизации метода КМ 540/1-11, тем более что он основан на применении отечественного двигателя.

В целях применения в дизелях для автомобильной и иной спецтехники российскими научными и производственными компаниями разработаны в текущее двадцатилетие и освоены на отечественных предприятиях технологии моторных масел M-5з/16Д2 [7] для транспортных высокофорсированных дизелей ЧТЗ «Урал-Трак» и ЯМЗ, комплектуемых в транспортной спецтехнике маслами M-4з/14Д, малозольным M-3з/12Д [8] для бензиновых двигателей и дизелей колесной и легкой гусеничной спецтехники. В составах некоторых из этих масел применяются ПАОМ, сложноэфирные компоненты и преимущественно российские присадки.

В сельскохозяйственных, промышленных и коммунальных тракторах используются в основном среднеоборотные дизели, изготавливаемые непосредственно на тракторных заводах или на заводах-изготовителях дизелей. В тракторных дизелях применяются преимущественно сезонные автомобильные моторные масла, например, в тракторе «Беларусь» летом в двигатель (и в гидравлику) заливают масло M-10B2, а зимой M-8B2. Для все-сезонного применения в дизелях промышленных тракторов, как и в автомобилях, применяются моторные масла классов вязкости 15W-40 или 20W-40 с эксплуатационными свойствами в российских — группы D₂, например M-6з/14ДМ, в зарубежных — CG-4—CF-4. В некоторых случаях применяются одни и те же масла для двигателей, трансмиссии и гидравлики, в частности масло MT-5з/10Д, обеспечивающее надежное смазывание дизелей с наддувом, включая двигатели воздушного охлаждения, а также агрегатов тракторных трансмиссий и гидросистем все-сезонно в регионах с умеренными климатическими условиями. Зарубежный аналог — масла STOU (Super Tractor Oil Universal). Для дизелей промышленных тракторов, эксплуатируемых в районах с холодным климатом — Арктике и Сибири — может применяться единое синтетическое масло MT-4з/8ДС.

Следует отметить недостаточное развитие химмотологической составляющей масловедения в России в отношении модернизации комплекса испытаний дизельных масел для автотракторной техники — фактически отсутствует лабораторно-стендовый и моторный инструментарий для испытаний и сертификации современных моторных масел, сопоставимый с таковым по API и ACEA. В табл. 2 приведены некоторые моторные методы испытаний дизельных масел по API и ACEA в сопоставлении с российскими. Обращает на себя внимание полная стандартизация принятых американских и европейских методов испытаний различных эксплуатационных свойств, в то время как в соответствии с российскими системами испытаний имеются только два стандарта и

Основные виды моторных испытаний масел для высоконагруженных автомобильных дизелей

Оцениваемые свойства	ACEA		API		ААИ-ГСМ		ГОСТ 17479.1	
	Метод	Двигатель	Метод	Двигатель	Метод	Двигатель	Метод	Двигатель
Влияние свойств масла на износ механизма газораспределения	СЕС-L-099-08	(OM646L)	ASTMD7484	Cummins ISB		КАМАЗ 740.50-360		
Изменения вязкости масла, загрязненного в ходе испытаний	ASTMD5967 ASTMD7156	Mack T-SE, Mack T11	ASTMD7156	Mack T11		ЯМЗ-652		
Высокотемпературные отложения, полировка цилиндров, износ	СЕС-L-101-09	(OM501LA)	ASTMD6750	Caterpillar 1N		ЯМЗ 7601.10 ЯМЗ 8421(846)		
Состояние масла, износ деталей при введении сажи, отложения в турбокомпрессоре	ASTMD7468	Cummins ISM	ASTMD7468	Cummins ISM				
Износ (коррозия свинца, поршневые кольца, гильзы цилиндров) при рециркуляции ОГ	ASTMD7422	Mack T-12	ASTMD7422	Mack T-12		ЯМЗ 5340(536) ЯМЗ-651	ГОСТ 20303	ИМ-1
Состояние масла, образование отложений на поршне, расход масла	ASTMD7422 (ссылка)	Mack T-12	ASTMD7549	Caterpillar C 13		КАМАЗ 740. КАМАЗ 740.13-260, ЯМЗ 5340 КАМАЗ 740.50-360, КАМАЗ 740.60-360	ГОСТ 20303 КМ	ИМ-1 Д-240 Д-245
Высокотемпературные отложения, износ деталей двигателя, изменение вязкости масла (антиокислительные и антикоррозионные свойства)			ASTMD6984	GMV6	СЕС-L-02-A	Petter-W-1	ГОСТ 20457	ИКМ

один квалификационный метод КМ 540/1-11, принятый еще в советское время. Испытания по стандарту ААИ-ГСМ на двигателях ЯМЗ и КАМАЗ проводят по РД на этих предприятиях, что не дает возможности распространять их результаты на дизели зарубежных изготовителей и вынуждает импортировать дизельные масла в объеме до 100 тыс. т/г. В Китае, например, создана возможность самостоятельного определения эксплуатационных свойств по API, чем активно пользуются производители масел и присадок, обеспечивая собственными маслами ежегодно увеличивающийся на 20 млн единиц автомобильный парк.

Несмотря на широкое распространение автомобильного транспорта, до 90 % грузов в мире перевозится водным путем. Моторные масла для судовых дизелей, которые для краткости называют судовыми маслами, являются весьма наукоемкими объектами масловедения. Судовые дизели существенно отличаются от наиболее известных и распространенных автотракторных своими большими размерами, количеством цилиндров, диаметрами (до 1900 мм) и рабочими ходами поршней (до 2500 мм), диаметрами шеек коленчатых валов и подшипников, применением

средне- и высоковязких топлив с содержанием серы до 0,5 %масс., эксплуатацией в условиях повышенной влажности, объемом и сложностью смазочных систем. По своей конструкции они классифицируются как крейцкопфные и тронковые. Крейцкопфными бывают только двухтактные, рядные и малооборотные (число оборотов в минуту до 250, линейная скорость поршня 3–6 м/с). Тронковые дизели могут быть двух- и четырехтактными, рядными и оппозитными, V-образными и звездообразными, среднеоборотными (250–1000 об/мин, 6–9 м/с) и высокооборотными (выше 1000 об/мин, 9–18 м/с). В России продолжают действовать предприятия по изготовлению судовых тронковых дизелей, крейцкопфные дизели мощностью от 5 до 100 МВт импортируются. Значительные размеры и массы движущихся деталей и узлов судовых дизелей (массы коленчатых валов крейцкопфных дизелей достигают десятки тонн) провоцируют возникновение довольно больших вращательных, линейных, инерционных, вибрационных и колебательных усилий, которые вызывают значительные напряжения в трибосопряженных узлах, передающиеся на смазочное масло, разделяющее поверхности трения, особенно при периодически

появляющихся в зависимости от погодных условий и сейсмического состояния дна океана доходящих до критических значений дифферента и крена судов.

С учетом принципиального значения двигателя с точки зрения безопасности мореплавания роль судового масла, являющегося функциональным элементом, обеспечивающим надежность работы дизеля, исключительно важна. Судовые масла должны минимизировать износ трущихся деталей, уменьшать потери на трение, обладать высокой термической и термоокислительной стабильностью, диспергирующей, пептизирующей и уплотнительной способностью. Они должны обладать невысокой коррозионной активностью по отношению к антифрикционным материалам и неспособностью к пенообразованию, защищать от коррозии, иметь пологую вязкостно-температурную характеристику, малый расход на угар и достаточно высокую теплоемкость, быть совместимыми с уплотнительными материалами, обладать влагостойкостью и малой эмульгируемостью с водой, препятствовать полировке втулок цилиндров, передавать нагрузки в узлах с гидродинамическим, эластогидродинамическим и граничным режимами смазки [9]. Требования к эксплуатационным свойствам судовых масел в определенной мере отличаются от таковых, предназначенных для других дизельных двигателей, поскольку дополняются сопротивляемостью к эмульгированию и вымыванию присадок вследствие применения их в воздушных средах с повышенной влажностью.

Судовые масла маркируются по ГОСТ 17479.1 и вырабатываются преимущественно в соответствии с ГОСТ 12337, что позволяет потребителям пользоваться единым государственным стандартом и в случае необходимости контролировать качество масел. ГОСТ 12337 дает достаточно полное представление об уровне физико-химических и трибологических свойствах судовых масел. Этим ГОСТом задана высокая планка, в связи с чем эти масла являются одними из наиболее востребованных среди производимых в России дизельных масел.

В соответствии с различными типами судовых дизелей и разнообразием их конструкций применяются неодинаковые системы смазки и различные масла. Для малооборотных крейцкопфных дизелей, у которых цилиндропоршневая группа отделена от остальной части двигателя мембраной, а движение поршня на шатун передается как у паровых машин через крейцкопф (или ползун), характерна система смазки с отдельной подачей смазочного масла к цилиндропоршневой группе и другим узлам трения. В этих дизелях смазывание цилиндропоршневой группы осуществляется

лубликаторной смазкой, т. е. введением моторного масла непосредственно в цилиндр на поверхность втулки специальными смазчиками. Цилиндровые масла в дополнение к вышеперечисленным качествам должны иметь высокое щелочное число для нейтрализации кислот, образующихся при сгорании сернистых топлив и окисления азота воздуха, а также моюще-диспергирующими свойствами, ориентированными на предотвращение отложений продуктов неполного сгорания в зоне поршневых колец и продувочных окон. В зависимости от цилиндровой мощности дизеля и свойств топлива, в особенности от содержания серы, применяются цилиндровые масла различных вязкости, эксплуатационных групп, преимущественно Д и Е, и щелочности; последняя может составлять от 20 до 100 мг КОН/г. Эти масла обладают весьма высокими моющими и нейтрализующими свойствами, благодаря чему имеется возможность безболезненно для дизеля использовать высоковязкие судовые топлива с содержанием серы до 3,5 % масс. При работе дизеля под нагрузкой большая часть углеводородов поступающего в цилиндр масла сгорает вместе с топливом, а отработанное масло с золой удаляется из двигателя в отдельную емкость. Рамовые (коренные) и шатунные подшипники, газораспределительные и иные механизмы смазываются судовыми маслами для циркуляционных систем смазки. Этими же маслами во многих случаях смазываются тронковые средне- и высокооборотные дизели.

Судовые масла в соответствии с ГОСТ 12337 имеют вязкость от 10 до 20 мм²/с и группы эксплуатационных свойств от В₂ до Е, причем масла группы Е в соответствии с прежней редакцией ГОСТ 17479.1–1985 вырабатывались и применяются только цилиндровые масла. Межгосударственный стандарт ГОСТ 17479.1–2015 в настоящее время осовременен применительно к судовым маслам с новой расшифровкой групп эксплуатационных свойств Е, Е₁ и Е₂, а также им вводится возможность применять дополнительные обозначения, в соответствии с чем, например, масло М-16Е30 должно обозначаться как М-16Е₂30л, т. е. масло моторное с вязкостью 16 м²/с при 100 °С и щелочностью 30 мг КОН/г для дизелей с лубликаторной смазкой. Основной ассортимент судовых масел показан в табл. 3 [10, 11]. Поскольку срок службы масел в судовых дизелях для магистральных и промысловых судов исчисляется в зависимости от внешней системы смазки от 500 до нескольких тысяч моточасов, хорошо зарекомендовавшие себя моторные масла надолго остаются в практике применения, некоторая консервативность которой оправдывается требованием надежности. Практически все

Таблица 3

Основной ассортимент судовых масел

Марка/ по ГОСТ17479.1–2015	ГОСТ	мг КОН/г	Золь- ность, %	Дизель, система смазки, топливо
М-10В ₂ С/М-10В ₂ Ц	12337	4,8	1,2	Т КЦ
М-10Г ₂ ЦС/М-10Г ₂ Ц	12337	9,0	1,5	Т КЦ
М-14Г ₂ ЦС/М-14Г ₂ Ц	12337	9,0	1,5	Т КЦ
М-16Г ₂ ЦС/М-16Г ₂ ЦЛ	12337	9,0	1,5	Т КЦЛ (1,5 %)
М-20Г ₂ /М-20 Г ₂	12337	9,0	1,9	Т Ц
М-20Г ₂ СД/М-20Г ₂ Ц	Р 51907	9,0	1,5	Т Ц
М-10ДЦЛ20/ М-10Д ₂ ЦЛ20	12337	18	3,0	ТК ЦЛ (3 %)
М-14ДЦЛ30/ М-14Д ₂ ЦЛ30	12337	27	4,6	ТК ЦЛ (3%)
М-14Д ₂ СЕ/М-14Д ₂ Ц	ТУ	13,5	1,8	ТЦ (1,5 %)
М-14Д ₂	СТО	12,0	1,6	ТЦ
М-16ДР/М-16Д ₂ Ц	12337	10	1,85	ТЦ (0,5 %)
М-16Е30/М-16Е ₂ Л30	12337	30	5,0	К Л (2 %)
М-20Е70/М-20Е ₂ Л70	12337	70	10,5	К Л (3,5 %)
Навиго МЦЛ 100/ М-20Е ₂ Л100	СТО ЛЛК	100	—	К Л (3,5 %)

Обозначения к столбцу «Дизель ...»: К — крейцкопфный; Л — лубрикаторная система смазки; Т — тронковый; Ц — циркуляционная система смазки; 1,5 % — содержание серы в топливе.

судовые масла формируются на основе нефтяных дистиллятных и остаточных базовых компонентов, легированных пакетами присадок, включающими антиокислительные, моющие, диспергирующие, противоизносные, антикоррозионные, противопенные и иные присадки. Подавляющее большинство судовых масел вырабатывается по ГОСТ 12337 из отечественных базовых компонентов и присадок. В производстве судовых масел участвуют ведущие российские вертикально-интегрированные компании, например завод имени Шаумяна и небольшие компании. Вместе с тем на рынке присутствуют и зарубежные компании, такие как BP, «Castrol», «Chevron», «ExxonMobil», «Shell», SK. Из их колоссального ассортимента можно отметить синтетическое, на основе ПАОМ, незагущенное моторное масло Mobilgard SHC 1, соответствующее по вязкости 20W-40 и имеющее весьма высокие противоизносные свойства. Применяется оно в высокооборотных судовых тронковых дизелях, комплектующих высокоскоростные катера и иные корабли, выполняющие наиболее сложные и напряженные морские работы.

Применение судовых масел осуществляется в соответствии с документацией на дизели, допуск к применению новых масел проводится по ГОСТ Р 15.201 с обязательным согласованием с изготовителями двигателей. Испытываются

судовые масла, применяемые в двигателях, работающих на дизельном топливе, по программам испытаний дизельных масел в соответствии с комплексом методов испытаний с использованием одноцилиндровых установок, моделирующих работу дизелей. В частности ГОСТ 20303 предусматривает, помимо лабораторных анализов, испытания моторных масел методом ИМ-1 на одноцилиндровом дизеле Ч8,5/11, при этом оценивается (без установления норм) износ комплекта вкладышей подшипников, а также моющие свойства масел по подвижности колец и отложениям на поршне и в кольцевых канавках. Именно по моющим свойствам в ГОСТ 17479.1 в баллах квалифицируются масла на соответствие определенным группам эксплуатационных свойств. Для групп моторных масел выше В при испытаниях применяется дизельное топливо с содержанием серы от 0,8 до 1 %, т. е. должно быть использовано эталонное дизельное топливо. Во время работы дизеля моторное масло подвергается интенсивному окислению, приводящему к образованию нагаров, осадков, отложений и последующей потере общей функциональности. Нагары и отложения препятствуют теплообмену поршня с маслом и свободному движению колец в канавках, что приводит к повышенному износу самих колец и втулки цилиндра. Поскольку образование отложений происходит в результате окисления масла при высоких температурах, моторные масла подвергаются всесторонним испытаниям на стойкость к окислению, в том числе по ГОСТ 20457 на одноцилиндровом бензиновом двигателе Ч7,2/7,5 методом ИКМ-40. На этом же двигателе определяется коррозионно-механический износ бронзовых вкладышей шатунных подшипников — фактически аналог метода СЕС-L-02-A на установке Petter W1. Судовые масла для лубрикаторной смазки крейцкопфных дизелей, в которых используются мало-, средне- и высоковязкое сернистые топлива, дополнительно испытываются на трехцилиндровом крейцкопфном дизеле Болнес 19/35 в АО ЦНИИМФ с использованием дизельного или средневязкого судового топлива с содержанием серы до 3,5 %; по завершении 150-часовых испытаний оцениваются моющие свойства масел и износ поршневых колец и втулок цилиндров.

Благодаря перечисленному и относительно скромному лабораторно-стендовому инструментарию, а также заводским стендовым испытаниям на полноразмерных изделиях и при необходимости эксплуатационным испытаниям, в ходе которых обязательно оцениваются моющие свойства масел и износы пар трения, разработаны практически все судовые масла. Это свидетельствует о хорошем приближении, за исключением редких

особых случаев, используемого набора методов испытаний к реальным условиям применения этих масел. Следует отметить характерную особенность судовых масел, вырабатываемых по ГОСТ 12337, которые на первый взгляд, перегружены довольно солидным перечнем регламентируемых показателей, однако такой подход позволяет контролировать свойства масел и свести к минимуму опасность применения некачественной продукции.

В этом плане приходится учитывать требования Приложения VI Международной конвенции по предотвращению загрязнений с судов MARPOL 73/78, устанавливающие требования к судовому топливу для районов контроля выбросов. В зонах портов, а также в Балтийском и Северном морях с 1 января 2015 г. содержание серы в судовом топливе не должно превышать более 0,1 % масс., а с 1 января 2020 г во всех акваториях мира не более 0,5 % масс. [3]. Данное приложение ратифицировано Российской Федерацией и применимо к судам, находящимся в российских портах, а также ко всем судам, ходящим под российским флагом. Сейчас для плавания в Балтийском и Северном морях судовладельцы вынуждены применять смесевые топлива, полученные из малосернистого дизельного топлива и высоковязкого судового топлива, в том числе полученного из остатков гидрокрекинга, поскольку коммерческие судовые дизели в основном работают на средне- или высоковязком судовом топливе. Для открытых бассейнов требуются гидроочищенные судовые топлива, которые уже реализуются на глобальном рынке от зарубежных и российских производителей, или скрубберы очистки отработавших газов, альтернатива — газовые и двухтопливные двигатели современных газозовов, в которых основным топливом является испаряющийся из перевозимых емкостей избыточный СПГ, а жидкое топливо используется для воспламенения. Снижение содержания серы в топливе в определенной мере облегчает моторным маслам задачу нейтрализации продуктов сгорания судового топлива, в особенности при использовании лубрикаторной системы смазки, хотя в условиях эксплуатации дизелей существенная доля окислов образуется при окислении азота воздуха. При этом необходимо обращать внимание на противоизносные свойства масел из-за опасности полировки втулок, вызванной низким содержанием серы в топливе, а также из-за абразивного износа, вызываемого действием присутствующими в малосернистых топливах остатками катализаторов [12]. Впрочем, РФ для условий эксплуатации судов во внутренних водных бассейнах, в том числе по малозагруженному пока Севморпути, временно разрешено применять прежние нормы по содержанию серы в судовом топливе.

По габаритам и мощности за судовыми следуют тепловозные дизели. В основном это средне- и высокооборотные, преимущественно четырехтактные дизели мощностью 700–5000 кВт при частоте вращения от 600 до 1500 об/мин. Дизели для тепловозов изготавливают, как правило, те же заводы, что и судовые, поэтому основные требования к тепловозным маслам близки к таковым для судовых, хотя потенциально они могут быть не такими жесткими по показателям эмульгируемости масла и вымываемости присадок. Правда, разработчики моторных масел для дизелей тепловозов, которые для краткости будем называть «тепловозными маслами», исходя из коммерческих соображений предпочитают формировать дизельные масла с прицелом на применение как в тепловозных, так и в судовых тронковых дизелях. Собственно требования ГОСТ 12337 распространяются не только на судовые, но и на тепловозные масла.

Тепловозные масла не имеют за рубежом собственной классификации по эксплуатационным свойствам, при этом в России, где железнодорожный транспорт имеет преобладающее значение в перевозке грузов, они классифицируются по ГОСТ 17479.1. В США эти масла подразделяют на пять поколений исходя из их диспергирующей активности и щелочности, которые возрастают с увеличением номера поколения: I — диспергирующая активность низкая, щелочность 4–5 мг КОН/г; II — средняя, 7 мг КОН/г; III — средняя, 10 мг КОН/г; IV — высокая, до 13 мг КОН/г; V — высокая, до 20 мг КОН/г. Преимущественно тепловозные масла формируются на основе смесей дистиллятных и остаточных нефтяных базовых компонентов и функциональных присадок, обеспечивающих достаточные диспергирующие, моющие, антиокислительные и противоизносные свойства, имеют вязкость при 100 °С около 14 мм²/с, эксплуатационные свойства от В₂ до Д₂ по ГОСТ 17479.1, или уровня CD–SE. Основной ассортимент отечественных тепловозных масел, примерно соответствующих американским поколениям, приведен в табл. 4.

За рубежом уже более двадцати лет в составах тепловозных масел применяют модификаторы вязкости и трения, позволяющие существенно увеличить индекс вязкости и снизить силовые потери на трение в многочисленных трущихся парах, что повышает механический КПД дизеля и обуславливает меньшее потребление топлива. В середине нулевых годов несколько российских научных коллективов, работающих в области масловедения, инициировали разработку загущенного масла М-6з/14Д₂. На сегодняшний день наиболее продвинулась в этом направлении компания «Квалитет» за счет доведения своей кон-

Таблица 4

Моторные масла для тепловозных дизелей

Марка	Область применения	Поколение, США
М-14Б	Двух- и четырехтактные дизели типов 2Д100, Д-50 маневровых и промышленных тепловозов	I
М-14В ₂	Четырехтактные тепловозные дизели, работающие на топливе с содержанием серы до 0,5 %	II
М-14Г ₂	Тепловозные дизели типа ЧН26/26 всех модификаций, до 0,5 % серы в топливе	II
М-14Г ₂ ЦС	Тепловозные дизели типа ЧН26/26	II
МС-20П	Тепловозные дизели типа 12ЧН18/20, работающие на малосернистом топливе	I
М-14Р, М-16ДР	Тепловозные дизели типа ЧН26/26, работающие на топливе до 0,5 % серы с увеличенным сроком смены	III
МТ-6з/14Д ₂	Тепловозные дизели всех типов, работающие на топливе до 0,5 % серы с увеличенным сроком смены	IV

цепции до завершения эксплуатационных испытаний, подтвердивших энергосберегающие свойства масла. Кроме того, снизился расход самого масла и увеличился для магистрального грузового тепловоза пробег до замены масла до 120–130 тыс. км, что существенно выше нормативного значения этого показателя для сезонного масла группы Д₂ [13].

Для автономного электроснабжения различных многочисленных промышленных объектов, медицинских учреждений, удаленных от сетей электропередач поселков применяются стационарные дизель-генераторы мощностью от десятков до тысяч кВт. В составе этих агрегатов используются, как правило, рядные или V-образные дизели, аналогичные судовым или тепловозным. В этих дизелях в основном применяются масла, указанные в табл. 3 и 4.

К основным направлениям дальнейшего повышения качества дизельных масел относятся: увеличение межсменного срока службы масел, снижение расхода масел, повышение экономии топлива при сохранении существующего или уменьшенного износа основных трибосопряженных пар, повышение надежности двигателей, улучшение экологических характеристик. Совершенствование качества дизельных масел достигается оптимизацией композиций и применением новых базовых компонентов и присадок.

Одновременно требуется модернизация отечественных химмотологических испытаний дизельных масел в целях постепенного преодоления отставания от мирового уровня в этой области. В первую очередь, в соответствии с действующей редакцией ГОСТ 17 479.1–2015, необходима разработка стендового моторного метода определения эксплуатационных свойств моторных масел группы E₂ и обеспечение доступности определения вязкости моторных масел по SAE в полном объеме.

Работа выполнена по Госзаказу ИНХС РАН

Литература

1. <https://plus-one.vedomosti.ru/blog/zelenaya-energiya-dlya-megapolisa>
2. Цветков О.Н., Максимов А.Л. Тенденции развития смазочных материалов России // Мир нефтепродуктов. 2020. № 5. С. 8–21.
3. Рудник Л.Р. Присадки к смазочным материалам. Свойства и применение. СПб. : ЦОП «Профессия». 2013. 908 с.
4. Дорогощинская В.А., Данилов А.М., Тонконогов Б.П. Присадки к топливам и смазочным материалам. М. : РГУНГ (НИИУ), 2017. 290 с.
5. Иванов А.В. Система требований к эксплуатационным свойствам моторных масел американского института нефти (API) // Мир нефтепродуктов. 2020. № 5. С. 8–21.
6. Тонконогов Б.П., Заворотный В.А., Цветков О.Н., Багдасаров Л.Н. Синтетические смазочные материалы. Синтетические углеводородные масла: монография. М. : Изд. центр РГУНГ им. И. М. Губкина (НИУ), 2018. Ч. 3. 205 с.
7. Цветков О.Н. Химмотология в масловедении // Химия и технология топлив и масел. 2014. № 5. С. 39–42.
8. Золотов В.А., Бартко Р.В. Новое универсальное всепогодное моторное масло для перспективной автотракторной техники // Нефтепереработка и нефтехимия. 2013. № 2. С. 31–34.
9. Микутенко Ю.А., Шкаренко В.А., Резников В.Д. Смазочные системы дизелей. Л. : Машиностроение. 1988. 125 с.
10. Цветков О.Н. Моторные масла для судовых двигателей // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2015. № 10. С. 17–20.
11. Дунаев С.В., Исаев А.В., Ширинов А.Г., Лесин А.Г., Михайлова Н.П., Рыжов В.А., Ткачëв В.Т. Моторное масло группы Д₂ с улучшенными эксплуатационными свойствами // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2015. № 10. С. 21–30.
12. Возницкий И.В. Практические рекомендации по смазке судовых дизелей. СПб. : Моркнига. 2007. 127 с.
13. Перминов В.А., Меджибовский А.С., Деметьев А.В., Ткачëв В.Т., Лебедева Н.А. Моторные масла для дизелей тепловозов: вчера, сегодня, завтра // Локомотив. 2018. № 6. С. 35–36.