

ВВЕДЕНИЕ

Автотракторная техника различного назначения с двигателями внутреннего сгорания является основным потребителем смазочных материалов.

Современные машины требуют использования высококачественных смазочных материалов. В настоящее время отечественная промышленность выпускает широкий ассортимент смазочных материалов, отвечающий высоким требованиям современной техники. С другой стороны, рынок насыщен маслами практически всех зарубежных фирм-производителей. Например, только моторных масел на нашем рынке насчитывается более 100 наименований. К сожалению, имеющаяся информация о смазочных материалах носит, в основном, рекламный характер, поэтому потребителю бывает трудно разобраться в обилии номенклатуры масел, особенно при недостатке или отсутствии профессиональных знаний и навыков, а также при трудностях с пониманием иностранных языков и специфичной маркировки масел.

Между тем для грамотной эксплуатации и продления срока службы автотракторной подбирать и использовать смазочные материалы следует осознанно. В то же время цены на нефтепродукты, а значит, и на смазочные материалы растут. Это связано, в том числе с совершенствованием методов переработки нефти, использованием нетрадиционных способов получения так называемых синтетических смазочных материалов, что повышает их качество и расширяет возможности применения.

В отдельных случаях тип двигателя или ходовой части машины требует разработки специальных видов масел. Например, для смазки шестерен с гипоидным зацеплением (такие применяются в задних мостах заднеприводных автомобилей) требуются трансмиссионные масла с особыми свойствами.

Важную роль в производстве смазочных материалов играют присадки, содержание которых в современных маслах может превышать 20 %

За последние годы совершенствование конструкции автотракторной техники и улучшение качества моторных масел позволили снизить расход топлива в среднем на 10-15 % и увеличить ресурс двигателей на 30-40 %, в результате чего уменьшились затраты на ремонт и запасные части. При этом срок службы масел возрос в полтора раза, а их расход снизился в 2-3 раза.

1. ТРЕНИЕ, СМАЗКА И ИЗНОС В ДВС

Работа ДВС сопровождается трением контактирующих и перемещающихся друг относительно друга поверхностей. На преодоле-

ние сил трения частично расходуется мощность, развиваемая двигателем.

Процесс трения сопровождается износом трущихся поверхностей; при этом работа сил трения превращается в теплоту. Наличие сил трения, износ поверхностей трения и тепловыделение на них отрицательно влияют на эффективность и долговечность двигателя.

Под трением (внешним) понимают сопротивление относительному перемещению, возникающее между двумя телами в зонах соприкосновения поверхностей по касательным к ним. Уменьшение потерь на трение и снижение износа рабочих поверхностей деталей – основное назначение смазочных материалов.

По характеру взаимного перемещения трущихся поверхностей деталей различают трение покоя (трение двух тел при предварительном их смещении) и трение движения (трение двух тел, находящихся в относительном движении). Трение движения, в свою очередь, по характеру движения делится на трение скольжения и трение качения.

В зависимости от наличия и количества смазочного материала между трущимися поверхностями различают ювенильное, граничное и гидродинамическое трение.

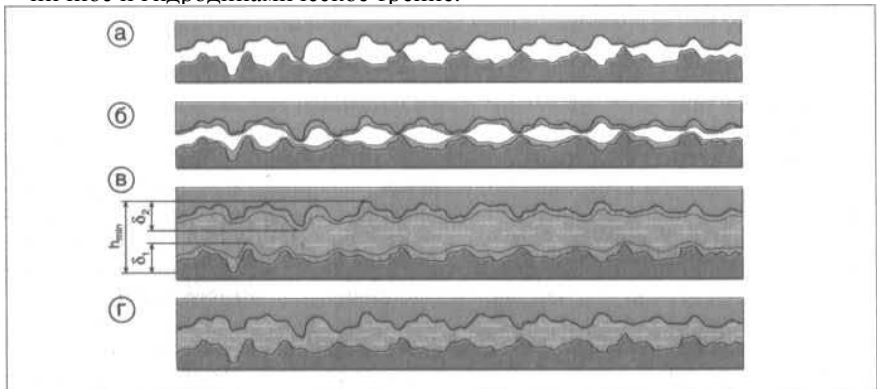


Рис.1. Виды трения по наличию смазочного материала:
а- ювенильное трение(трение без смазки); б – граничное трение; в- жидкостное трение; г- смешанное трение;
 h_{\min} – величина зазора между трущимися поверхностями;
 δ_1, δ_2 – высота микронеровностей на трущихся поверхностях

Ювенильными называют поверхности твердых тел, не имеющих покрытий или загрязнений. Фрикционное взаимодействие таких поверхностей называют *ювенильным трением* (рис. 1,а). Два твердых тела, обладающих ювенильными поверхностями, контактируют друг с другом на отдельных участках — зонах микроконтакта. Общая площадь зон микроконтакта зависит от чистоты обработки поверхностей.

При относительном перемещении тел возникает их фрикционное взаимодействие, обусловливаемое деформированием материала в зонах микроконтакта и нарушением адгезионных связей, возникающих между материалами трущихся поверхностей. Адгезионные связи (адгезионные мостики) образуются и разрушаются при движении поверхностей; их величина и расположение постоянно изменяются. Однако в любой момент времени площадь контакта остается примерно постоянной.

Силы, затрачиваемые на преодоление адгезионных связей и на взаимную деформацию трущихся поверхностей, существенно уменьшаются при наличии на поверхностях трущихся материалов разделительных пленок. В этом случае все деформации, связанные с относительным перемещением поверхностей, происходит во внутреннем объеме пленки или на границе ее контакта с поверхностями и не затрагивают трущиеся поверхности.

Для обеспечения наименьших потерь энергии на преодоление сил трения пленка, разделяющая поверхности трения, должна обладать минимальным сопротивлением сдвигу в направлении, касательном поверхностям, а для исключения механического контакта между трущимися поверхностями и уменьшения сил адгезионного взаимодействия между ними — наибольшим сопротивлением сдвигу в нормальном направлении. Разделительную пленку, разграничивающую трущиеся поверхности, называют *граничной*. Трение при наличии граничной пленки называют *граничным* (рис 1, б).

Граничное трение возникает в случае, когда поверхности трения разделены слоем смазки малой толщины (менее $0,1$ мкм), не превышающей высоты микронеровностей (шероховатости) поверхности. При этом величина силы трения зависит от природы и состояния трущихся поверхностей.

Режим граничного трения очень неустойчив и характеризует предел работоспособности узла трения. Если граничный слой разрушается, а нагрузка превышает силы сцепления смазочного материала с рабочей поверхностью детали, то в месте контакта возникает сухое трение и, как следствие, задиры, заклинивания и другие аварийные повреждения деталей (например, выплавление антифрикционного слоя вкладышей коленчатого вала).

Толщина и прочность граничного слоя масла при трении рабочих поверхностей деталей двигателя зависит от химического состава масла и входящих в него присадок, химической структуры деталей (например, баббитовые или алюминиевые вкладыши коленчатого вала) и состояния поверхности трения (шлифование или суперфиниширование). При этом работоспособность граничного слоя масла не зависит от его вязкости, а определяется взаимодействием молекулярной пленки масла с трущейся поверхностью металла. Возникающие молекулярные пленки масла бывают физического (адсорбция) или химического (хемосорбция) происхождения.

Образование смазочных пленок силами адсорбции обусловлено наличием в смазочных материалах поверхностно-активных веществ (ПАВ), несущих электрический заряд. К таким веществам относятся соединения, содержащие карбоксильные группы, спирты, различные эфиры, смолы, сернистые соединения. Смазочные материалы, содержащие ПАВ, обладают способностью адсорбироваться на поверхностях раздела двух сред: жидкости и твердого тела. Способность смазочных материалов, содержащих ПАВ, образовывать на смазываемых поверхностях достаточно прочные слои ориентированных молекул, называют маслянистостью или смазывающей способностью масел. В некоторые масла для [улучшения их смазывающей способности вводят противоизносные и противозадирные присадки.

Хемосорбированные пленки - устойчивые химические пленки фосфатов, хлоридов или сульфидов - создаются на поверхности металла благодаря присутствию в смазочных материалах соответствующих химических элементов. Большая скорость образования этих пленок обеспечивает их быстрое восстановление в местах разрушения граничного слоя. К пленкам этого типа относят так же различные мыла, которые образуются из органических кислот, содержащихся в масле.

Адсорбированные и хемосорбированные пленки, обладая определенной прочностью и стойкостью, защищают поверхности трения от механических и тепловых воздействий, препятствуют взаимной адгезии трущихся поверхностей.

Принцип гидродинамического или жидкостного трения (рис. 1,в), называемого также гидродинамическим или жидкостным режимом смазки, характеризуется наличием между трущимися поверхностями достаточно толстого слоя смазочного вещества. В этом слое при относительном движении трущихся поверхностей появляются гидродинамические силы, препятствующие их контакту. Сила трения при жидкостном режиме смазки определяется уравнением

$$T = F\eta du/dy,$$

где T – сила трения, возникающая на поверхности слоя жидкости толщиной dy с площадью поверхности F при относительном изменении скорости скольжения du ;

η – динамическая вязкость жидкости.

При жидкостном трении в смазочный слой полностью отделяет взаимоперемещающиеся рабочие поверхности одну от другой и имеет толщину, при которой проявляются нормальные объемные свойства масла.

При трении без смазки дополнительная энергия тратится на преодоление:

- взаимного механического зацепления неровностей (шероховатостей) трущихся поверхностей при их относительном перемещении;
- сил межмолекулярного притяжения;
- явления сваривания отдельных острых выступов поверхностей

трущихся пар в условиях высоких удельных давлений и значительного выделения тепла.

Устойчивость смазочного слоя, необходимого для жидкостного трения, зависит от следующих факторов: конструкции узла трения; скорости взаимного перемещения трущихся поверхностей; величины и равномерности распределения нагрузки на трущиеся поверхности; вязкости смазочного материала; площади трущихся поверхностей; величины зазора между трущимися поверхностями; температурного состояния узла трения и др.

Механизм образования масляного клина (слоя) в коренном подшипнике коленчатого вала при пуске двигателя показан на рис. 2. Вращаясь в подшипнике скольжения, вал увлекает находящееся в зазоре масло, и там, где величина зазора h_{\min} меньше, возникает давление, под действием которого вал «всплывает» в заполняющем зазор масляном слое (рис. 2,б). С увеличением частоты вращения коленчатого вала «клиновое действие» масляного слоя возрастает, увеличивается величина h_{\min} и шейка вала стремится занять центральное положение в подшипнике (рис. 2, в).

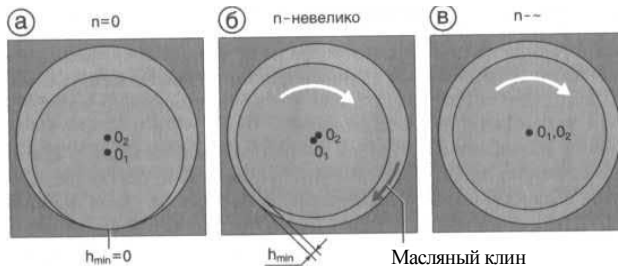


Рис.2. Образование масляного клина в подшипнике скольжения коленчатого вала: а – двигатель не работает; б – момент пуска двигателя; в – работа двигателя (постоянное вращение коленчатого вала)

Минимальная толщина масляного слоя h_{\min} зависит от конструкции подшипника скольжения (наличия упорных буртиков, сальниковых уплотнений и других элементов), абсолютной вязкости масла, скорости перемещения трущихся поверхностей и величины давления на трущиеся поверхности. Соблюдение закономерности

$$h_{\min} > 1,5 (\delta_1 + \delta_2),$$

где δ_1 и δ_2 – максимальные высоты выступов на поверхностях трения (см. рис. 1).

Для любых пар трущихся поверхностей вязкость масла должна быть наименьшей, но в то же время обеспечивающей жидкостное трение. Так, для подшипника скольжения коленчатого вала двигателей внутреннего сгорания кинематическая вязкость должна быть не менее $4-5 \text{ мм}^2/\text{с}$.

Гидродинамический режим наиболее часто имеет место при смазке подшипников скольжения. В этом случае за счет разности диаметров цапфы и подшипника автоматически образуется если клиновидный зазор, через который прокачивается масло, увлекаемое вращающим элементом.

Таким образом, для одной и той же трущейся пары могут иметь место любой из режимов — трение гидродинамическое, граничное и ювенильное. Каждому из этих режимов соответствуют следующие ориентировочные значения коэффициентов трения:

гидродинамическое	0,002...0,01
граничное:	
смазанные поверхности	0,05...0,04
несмазанные окисленные поверхности	0,020...0,80
ювенильное	0,8..10 и выше

На трение и износ в ДВС определяющее влияние оказывает работа трущихся тел в режиме граничного трения.

Полужидкостное трение возникает при пуске и остановке двигателя, высоких рабочих температурах и нагрузках, недостаточной вязкости масла и его подаче, а также при попадании в масло абразивных механических примесей. В этих ситуациях масла в зазоре между трущимися парами может оказаться недостаточно для обеспечения жидкостного трения, масляный слой частично разрушен, в результате чего в отдельных местах соприкосновения трущихся поверхностей возникает граничное или сухое трение. Если масло обладает высокой смазывающей способностью, только это и позволяет максимально уменьшить трение и износ, а также предотвратить заклинивание трущихся деталей.

При фрикционном взаимодействии твердых поверхностей происходит их взаимный износ. По статистическим данным около 85 % машин выходит из строя из-за износа трущихся поверхностей.

Изнашивание - это процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердой детали накопления в ней остаточной деформации или постепенного изменения ее размеров или формы поверхностей под воздействием трения.

Количественной мерой оценки изнашивания является износ, который может выражаться в единицах длины, массы (поршневые кольца) или объема (угар масла).

Различают скорость изнашивания и интенсивность изнашивания. Скорость изнашивания определяют как отношение значения износа к интервалу времени, в течение которого он возник, а интенсивность изнашивания - как отношение значения износа к величине расстояния (пробега, измеряемого в км), на котором происходило изнашивание, или объему выполненной работы (т/км, м³ и т.д.).

По характеру разрушения деталей различают следующие виды изнашивания: механическое, молекулярно-механическое и коррозионно-механическое.

Механическое изнашивание, возникающее в результате механических воздействий, подразделяется на абразивное, гидроабразивное, газоабразивное, усталостное, эрозионное и кавитационное.

Абразивное изнашивание становится результатом режущего или царапающего воздействия на поверхности трения относительно более твердых частиц, находящихся в свободном или закрепленном состоянии. Даже незначительное количество абразивных частиц ведет к очень быстрому изнашиванию трущихся поверхностей деталей автомобиля (например, песок, попавший в тормозные барабаны или картер сцепления).

Гидроабразивное изнашивание, как и газоабразивное, — результат воздействия на детали твердых частиц, увлекаемых, соответственно, жидкостью или газом. Такие загрязнения, как твердые продукты износа, частицы нагара, пыль и другие, попадая в двигатель, вызывают интенсивное изнашивание поверхностей трения деталей, систем смазки и питания.

Усталостное изнашивание — следствие повторного деформирования микро-объемов материала, из-за которого возникают трещины и происходит отделение частиц. Усталостное изнашивание может происходить как при трении качения (галтели поворотного кулака балки переднего моста автомобиля), так и при трении скольжения (галтели коленчатого вала двигателя).

Эрозионное изнашивание наблюдается при воздействии на поверхность трения жидкости или газа. Наиболее часто этот вид изнашивания встречается на поверхностях деталей охлаждающей и выпускной систем двигателя. Разновидностью эрозионного изнашивания является электроэрозионное изнашивание поверхности в результате воздействия разрядов при прохождении электрического тока. Наиболее часто от электроэрозионного изнашивания страдают (подгорают) контакты замка зажигания, прерывателя-распределителя, тягового реле стартера, электропривода насоса охлаждающей жидкости и т.п.

Кавитационное изнашивание возникает в условиях кавитации - процесса «схлопывания» пузырьков газа вблизи поверхности трения, создающего местное повышение давления или температуры. При кавитационном изнашивании наружные поверхности гильз цилиндров двигателя покрываются кратерами или вырывами, образовавшимися от разрывов пузырьков.

Молекулярно-механическое изнашивание (изнашивание при заклинивании) является результатом совместного действия механического изнашивания с молекулярными или атомными силами. В этом случае происходит глубинное вырывание материала, местное соединение (схватывание) двух твердых тел, перенос металла с одной поверхности трения на другую и воздействия возникших неровностей на сопряженную поверхность.

Заклинивание двигателя становится следствием схватывания, как правило, коренного либо шатунного подшипника коленчатого вала

из-за нарушения жидкостного трения. Возникающее при этом повышение температуры приводит к выплавлению антифрикционного сплава (бabbitового или алюминиевого) вкладышей. При этом антифрикционный слой заполняет зазор между трущейся поверхностью вкладыша и шейкой коленчатого вала, что и приводит к заклиниванию коленчатого вала. Задиры на стенках гильз цилиндров двигателей возникают при нарушении подвижности или разрушении поршневых колец.

Коррозионно-механическое изнашивание возникает в результате механического воздействия на трущиеся поверхности, сопровождаемого химическим или в электрическом взаимодействием материала со средой. Коррозионные разрушения в этом случае развиваются при воздействии на трущиеся поверхности таких агрессивных веществ, как химически активные газы, кислотные примеси смазочных материалов и др. При этом изнашивание вызывается главным образом химической реакцией материала поверхности трения с кислородом или окисляющей окружающей средой (пример - окисление выводов аккумуляторной батареи).

На возникновение какого-либо вида изнашивания и повышение его интенсивности влияют:

- свойства материалов поверхностей трения деталей (бabbit, алюминий, закаленная сталь и др.);
- свойства и качества смазочных материалов;
- способы подвода смазки к трущимся поверхностям (разбрызгиванием, под давлением, самотеком);
- давление и место подачи смазочного материала к трущимся поверхностям (расположение масляного канала относительно трущихся поверхностей);
- форма и размеры поверхностных неровностей (шероховатость) и трущихся поверхностей (овальность, конусность);
- характер приложения нагрузки (динамический, статический, знакопеременный);
- скорость относительного перемещения трущихся тел и ее изменение во времени (разгон автомобиля, торможение двигателем);
- температурный режим работы двигателя и, как следствие, пары трения;
- присутствие механических и химических примесей, влаги в месте контакта и полнота удаления продуктов изнашивания из зоны трения;
- качество топлива;
- режим работы и климатические условия эксплуатации автомобиля и др.

2. НАЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Смазочные материалы предназначены для уменьшения интенсивности изнашивания и сил сопротивлений в узлах трения, а также

для обеспечения нормального функционирования систем, содержащих смазки.

Смазочные материалы, применяемые для автомобилей, делятся на:

- моторные масла;
- трансмиссионные смазочные материалы;
- пластичные смазки для использования в негерметизированных узлах трения (например, шкворнях, пальцах и листах рессор, подшипниках ступиц колес и т.п.);
- масла для гидравлических систем приводов дополнительных специальных устройств, расширяющих функциональное использование базового автомобиля (автомобили-самосвалы, автомобили коммунального назначения и т.п.).

3. МОТОРНЫЕ МАСЛА

Масла, применяемые для смазывания поршневых двигателей внутреннего сгорания, называют *моторными*. В зависимости от назначения их подразделяют на масла для дизелей, масла для бензиновых двигателей и универсальные моторные масла, которые предназначены для смазывания двигателей обоих типов. Все современные моторные масла состоят из базовых масел и улучшающих их свойства присадок. В качестве базовых масел используют дистиллятные компоненты различной вязкости, остаточные компоненты, смеси остаточного и дистиллятных компонентов, а также синтетические продукты (полиальфа-олефины, алкилбензолы, эфиры). Большинство всепогодных масел получают путем загущения маловязкой основы макрополимерными присадками. По составу базового масла моторные масла подразделяют на синтетические, минеральные и частично синтетические (смеси минерального и синтетических компонентов).

Условия работы масел в двигателях внутреннего сгорания постоянно ужесточаются. Форсирование нагрузочных и скоростных режимов двигателей, уменьшение удельной емкости системы смазки приводит к росту температуры основных деталей и, как следствие, к ускорению окисления масел.

Основная функция моторного масла — снижение трения и износа трущихся поверхностей деталей двигателя за счет создания на их поверхностях прочной масляной пленки. Одновременно моторные масла должны обеспечивать:

- уплотнение зазоров в сопряжениях работающего двигателя и, в первую очередь, деталей цилиндропоршневой группы;
- эффективный отвод тепла от трущихся поверхностей деталей, удаление из зон трения продуктов износа и других посторонних веществ;
- надежную защиту рабочих поверхностей деталей двигателя от коррозионного воздействия продуктов окисления масла и сгорания топлива;
- предотвращение образования всех видов отложений (нагары, лаки, зольные отложения, шламы) на деталях двигателя при его работе на различных режимах;
- высокую стабильность при окислении, механическом воздействии и обводнении, т.е. сохранение первоначальных свойств, как в многообраз-

ных условиях применения, так и при длительном хранении;

- малый расход масла при работе двигателя;
- большой срок службы масла до замены без ущерба для надежной работы двигателя.

Для выполнения этих функций моторные масла должны удовлетворять следующим эксплуатационным требованиям:

1) оптимальные (в зависимости от уровня формирования двигателя) моющие, диспергирующие, нейтрализующие и антиокислительные свойства, благодаря которым обеспечивается чистота деталей двигателя в период эксплуатации;

2) высокие противоизносные, противозадирные и противокоррозионные свойства, обеспечивающие надежную, долговечную и экономичную работу двигателей в течении установленного моторесурса;

3) высокий индекс вязкости (особенно для зимних и всесезонных масел) для сохранения минимально допустимой толщины масляной пленки в нагруженных узлах двигателя при высоких температурах и хорошей прокачиваемости масла через зазоры в сопрягаемых узлах, обеспечивающий легкий пуск при отрицательных температурах;

4) совместимость моторных масел с различными по составу базовой основой и присадками.

К некоторым маслам предъявляют особые, дополнительные требования. Так, масла, загущенные макрополимерными присадками, должны обладать требуемой стойкостью к механической и термической деструкции; для судовых дизельных масел особенно важна влагостойкость присадок и малая эмульгируемость с водой; для энергосберегающих — антифрикционность, благоприятные реологические свойства.

3.1. Свойства масел и методы их оценки

Моюще-диспергирующие свойства характеризуют способность масла обеспечивать необходимую чистоту деталей двигателя, поддерживать продукты окисления и загрязнения во взвешенном состоянии. Чем выше моюще-диспергирующие свойства масла, тем больше нерастворимых веществ — продуктов старения может удерживаться в работающем масле без выпадения в осадок, тем меньше лакообразных отложений и нагаров образуется на горячих деталях, тем выше может быть допустимая температура деталей (степень форсирования двигателя). Кроме концентрации моюще-диспергирующих присадок на чистоту двигателя существенно влияет эффективность используемых присадок, их правильное сочетание с другими компонентами композиции, а также приемистость базового масла. В композициях моторных масел в качестве моющих присадок используют сульфонаты, алкилфеноляты, алкилсалицилаты и фосфонаты кальция или магния и реже (по экологическим соображениям) бария, а также рациональные сочетания этих зольных присадок друг с другом и с беззольными дисперсантами-присадками, снижающими, главным образом, склонность масла к об-

разованию низкотемпературных отложений и скорость загрязнения фильтров тонкой очистки масла. Модифицированные термостойкие беззольные дисперсанты способствуют и уменьшению лако- и нагарообразования на поршнях. Механизм действия моющих присадок объясняют их адсорбцией на поверхности нерастворимых в масле частиц. В результате на каждой частице образуется оболочка из обращенных в объем масла углеводородных радикалов. Она препятствует коагуляции частиц загрязнений, их соприкосновению друг с другом. Полярные молекулы присадок образуют двойной электрический слой, придающий одноименные заряды частицам, на которых они адсорбировались. Благодаря этому частицы отталкиваются и вероятность их объединения в крупные агрегаты уменьшается. При работе двигателей на топливах с повышенным содержанием серы моющие присадки, придающие маслу щелочность, препятствуют образованию отложений на деталях двигателей также и путем нейтрализации кислот, образующихся из продуктов сгорания топлива. Металлсодержащие моющие присадки повышают зольность масла, что может привести к образованию зольных отложений в камере сгорания, замыканию электродов свечей зажигания, преждевременному воспламенению рабочей смеси, прогару выпускных клапанов, снижению детонационной стойкости топлива, абразивному изнашиванию. Поэтому сульфатную зольность моторных масел ограничивают верхним пределом. Ее допустимое значение зависит от типа и конструкции двигателя, расхода масла на угар, условий эксплуатации, в частности, от вида применяемого топлива. Наименее зольные масла необходимы для смазывания двухтактных бензиновых двигателей и двигателей, работающих на газе. Наибольшую зольность имеют высокощелочные цилиндрические масла. Моющие свойства моторных масел в лабораторных условиях определяют на модельной установке ПЗВ, представляющей собой малоразмерный одноцилиндровый двигатель с электроприводом и электронагревателями. Стендовые моторные испытания для оценки моющих свойств проводят либо в полноразмерных двигателях, либо в одноцилиндровых моторных установках по стандартным методикам. Критериями оценки моющих свойств служит чистота поршня, масляных фильтров, роторов центрифуг, подвижность поршневых колец. Диспергирующие свойства масел оценивают в баллах от 0 до 6 по методу ПЗВ. Образование лаковых отложений на деталях двигателя, работающего на маслах с моющими присадками, уменьшается в 3-6 раз, т.е. с 3-4,5 до 0,5-1,5 балла.

Антиокислительные свойства в значительной степени определяют стойкость масла к старению. Условия работы моторных масел в двигателях настолько жестки, что предотвратить их окисление полностью не представляется возможным. Соответствующей очисткой базовых масел от нежелательных соединений, присутствующих в сырье, использованием синтетических базовых компонентов, а также введением эффективных антиокислительных присадок можно значительно затормозить процессы окисления масла, которые приводят к росту его вязкости и коррозионности, склонности к образованию отложений,

загрязнению масляных фильтров и другим неблагоприятным последствиям (затруднение холодного пуска, ухудшение прокачиваемости масла). Окисление масла в двигателе наиболее интенсивно происходит в тонких пленках масла на поверхностях деталей, нагреваемых до высокой температуры и соприкасающихся с горячими газами (поршень, цилиндр, поршневые кольца, направляющие и стебли клапанов). В объеме масла окисляется менее интенсивно, так как в поддоне картера, радиаторе, маслопроводах температура ниже и поверхность контакта масла с окисляющей газовой средой меньше. Во внутренних полостях двигателя, заполненных масляным туманом, окисление более интенсивно. На скорость и глубину окислительных процессов значительно влияют попадающие в масло продукты неполного сгорания топлива. Они проникают в масло вместе с газами, прорывающимися из надпоршневого пространства в картер. Ускоряют окисление масла частицы металлов и загрязнений неорганического происхождения, которые накапливаются в масле в результате изнашивания деталей двигателя, недостаточной очистки всасываемого воздуха, нейтрализации присадками неорганических кислот, а также металлоорганические соединения меди, железа и других металлов, образующиеся в результате коррозии деталей двигателя или взаимодействия частиц изношенного металла с органическими кислотами. Все эти вещества — катализаторы окисления. *Стойкость моторных масел к окислению повышают введением в их состав антиокислительных присадок.* Наилучший антиокислительный эффект достигается при введении в масло присадок, обладающих различным механизмом действия. В качестве антиокислительных присадок к моторным маслам применяют диалкил- и диарилдитиофосфаты цинка, которые улучшают также антикоррозионные и противоизносные свойства. Их часто комбинируют друг с другом и с безольными антиокислителями. К числу последних относят пространственно затрудненные фенолы, ароматические амины, безольные дитиофосфаты и др. Довольно энергичными антиокислителями являются некоторые моюще-диспергирующие присадки, в частности алкилсалицилатные и алкилфенольные. При длительной работе масла в двигателе интенсивный рост вязкости, обусловленный окислением, начинается после практически полного истощения антиокислительных присадок. В стандартах и технических условиях на моторные масла их стойкость к окислению косвенно характеризуется индукционным периодом осадкообразования (окисление по методу ГОСТ 11063–77 при 200 °С). При моторных испытаниях антиокислительные свойства масел оценивают по увеличению их вязкости за время работы в двигателе установки ИКМ (ГОСТ 20457–75) или Petter W-1.

Противоизносные свойства моторного масла зависят от химического состава и полярности базового масла, состава композиции присадок и вязкостно-температурной характеристики масла с присадками, которая в основном предопределяет температурные пределы его применимости (защита деталей от износа при пуске двигателя, при макси-

мальных нагрузках и температурах окружающей среды). Особенно важны эффективная вязкость масла при температуре 130–180 °С и градиенте скорости сдвига 105–107 с⁻¹, зависимость вязкости от давления, свойства граничных слоев и способность химически модифицировать поверхностные слои сопряженных трущихся деталей. При работе на топливах с повышенным или высоким содержанием серы, а также в условиях, способствующих образованию азотной кислоты из продуктов сгорания (газовые двигатели, дизели с высоким наддувом), *важнейшей характеристикой способности масла предотвращать коррозионный износ поршневых колец и цилиндров является его нейтрализующая способность, показателем которой в нормативной документации служит щелочное число*. Различные узлы и детали двигателей (за исключением крейц-копфных дизелей, имеющих две автономные смазочные системы) смазываются обычно одним маслом, а условия трения, изнашивания и режим смазки существенно различны. Подшипники коленчатого вала, поршневые кольца в сопряжении с цилиндром работают преимущественно в условиях гидродинамической смазки. Зубчатые колеса привода агрегатов, масляных насосов и детали механизма привода клапанов работают в условиях эластогидродинамической смазки. Вблизи мертвых точек жидкостное трение поршневых колец по стенке цилиндра переходит в граничное. Множественность факторов, влияющих на износ деталей двигателей, принципиальные различия режимов трения и изнашивания узлов затрудняют оптимизацию противоизносных свойств моторных масел. Придание маслу достаточной нейтрализующей способности и введение в его состав дитиофосфатов цинка часто оказывается достаточным для предотвращения коррозионно-механического изнашивания и модифицирования поверхностей деталей, тяжело нагруженных сопряжений во избежание задиrow или усталостного выкрашивания. Однако тенденция к применению маловязких масел для достижения экономии топлива и ограничение поступления масла к верхней части цилиндра для уменьшения расхода на угар требуют улучшения противоизносных свойств масел при граничной смазке. Это достигается введением специальных противоизносных присадок, содержащих серу, фосфор, галогены, бор, а также введением беззольных дисперсантов, содержащих противоизносные фрагменты. Большое влияние на износ оказывает наличие в масле абразивных загрязнений. Их наличие в свежем масле не допускается, а масло, работающее в двигателе, должно подвергаться очистке в фильтрах, центрифугах, сепараторах. Уменьшению вредного действия абразивных частиц способствуют высокие диспергирующие свойства масла. Трибологические характеристики, определяемые на четырехшариковой машине трения (ЧШМ) по ГОСТ 9490–75, нормированы стандартами и техническими условиями на многие моторные масла для контроля процесса производства. Однако непосредственную связь между оценкой противоизносных и противозадиrowных свойств на машине трения и фактическими противоизносными свойствами моторных масел в реальных условиях применения установить не

всегда возможно. При моторных испытаниях противоизносные свойства масел оценивают по потере массы поршневых колец, задиру или питтингу кулачков и толкателей, линейному износу этих деталей и цилиндров, состоянию поверхностей трения.

Антикоррозионные свойства моторных масел зависят от состава базовых компонентов, концентрации и эффективности антикоррозионных, антиокислительных присадок и деактиваторов металлов. В процессе старения коррозионность моторных масел возрастает. Более склонны к увеличению коррозионности масла из малосернистых нефтей с высоким содержанием парафиновых углеводородов, образующих в процессах окисления агрессивные органические кислоты, которые взаимодействуют с цветными металлами и их сплавами. Антикоррозионные присадки защищают антифрикционные материалы (свинцовистую бронзу), образуя на их поверхности прочную защитную пленку. Антиокислители препятствуют образованию агрессивных кислот. Иногда необходимо вводить в моторные масла присадки-деактиваторы, образующие хелатные соединения с медью, предохраняющие поверхность от коррозионного разрушения. Антикоррозионные присадки типа дитиофосфатов цинка, применяемые в большинстве моторных масел, не защищают от коррозии сплавы на основе серебра и фосфористые бронзы, а при высокой температуре активно способствуют их коррозии. В двигателях, в которых используют такие антифрикционные материалы, необходимо использовать специальные масла, не содержащие дитиофосфатов цинка. В лабораторных условиях антикоррозионные свойства моторных масел оценивают по методу ГОСТ 20502–75 по потере массы свинцовых пластин за 10 или 25 ч испытания при температуре 140 °С. При моторных испытаниях антикоррозионные свойства масел оценивают по потере массы вкладышей шатунных подшипников полноразмерных двигателей или одноцилиндровых установок ИКМ или Petter W-1, а также по состоянию их поверхностей трения (цвет, натиры, следы коррозии).

Вязкостно-температурные свойства — одна из важнейших характеристик моторного масла. От этих свойств зависит диапазон температуры окружающей среды, в котором данное масло обеспечивает пуск двигателя без предварительного подогрева, беспрепятственное прокачивание масла насосом по смазочной системе, надежное смазывание и охлаждение деталей двигателя при наибольших допустимых нагрузках и температуре окружающей среды. Даже в умеренных климатических условиях диапазон изменения температуры масла от холодного пуска зимой до максимального прогрева в подшипниках колчатого вала или в зоне поршневых колец составляет до 180–190 °С. Вязкость минеральных масел в интервале температур от -30 до +150 °С изменяется в тысячи раз. Летние масла, имеющие достаточную вязкость при высокой температуре, обеспечивают пуск двигателя при температуре окружающей среды около 0 °С. Зимние масла, обеспечивающие холодный пуск при отрицательных температурах, имеют недостаточную вязкость при высокой температуре. Таким образом, се-

зонные масла независимо от их наработки (пробега автомобиля) необходимо менять дважды в год. Это усложняет и удорожает эксплуатацию двигателей. Проблема решена созданием всесезонных масел, загущенных полимерными присадками (полиметакрилаты, сополимеры олефинов, полиизобутилены, гидрированные сополимеры стирола с диенами и др.). Вязкостно-температурные свойства загущенных масел таковы, что при отрицательных температурах они подобны зимним, а в области высоких температур — летним. Вязкостные присадки относительно мало повышают вязкость базового масла при низкой температуре, но значительно увеличивают ее при высокой температуре, что обусловлено увеличением объема макрополимерных молекул с повышением температуры и рядом иных эффектов. В отличие от сезонных, загущенные всесезонные масла изменяют вязкость под влиянием не только температуры, но и скорости сдвига, причем это изменение временное. С уменьшением скорости относительного перемещения смазываемых деталей вязкость возрастает, а с увеличением — снижается. Этот эффект больше проявляется при низкой температуре, но сохраняется и при высокой, что имеет два позитивных последствия: снижение вязкости в начале проворачивания холодного двигателя стартером облегчает пуск, а небольшое снижение вязкости масла в зазорах между поверхностями трения деталей прогретого двигателя уменьшает потери энергии на трение и дает экономию топлива. Характеристиками вязкостно-температурных свойств служат *кинематическая вязкость*, определяемая в капиллярных вискозиметрах, и динамическая вязкость, измеряемая при различных градиентах скорости сдвига в ротационных вискозиметрах, а также *индекс вязкости* — безразмерный показатель пологости вязкостно-температурной зависимости, рассчитываемый по значениям кинематической вязкости масла, измеренной при 40 и 100 °С (ГОСТ 25371–82).

Под вязкостью понимают объемное свойство масла оказывать сопротивление при относительном перемещении его слоев. Для характеристики моторного масла наиболее широко применяются динамическая (μ , Па·с) и кинематическая (ν , мм²/с) вязкость. За единицу динамической вязкости μ принимают вязкость, при которой для относительного перемещения со скоростью 1 м/с двух слоев жидкости площадью 1 м², находящихся на расстоянии 1 м по нормали к направлению скорости, необходимо приложить усилие в 1 Н.

Кинематическая и динамическая вязкость связаны между собой выражением

$$\nu = \frac{\mu}{\rho},$$

где ρ – плотность масла.

По вязкости моторные масла подразделяются на маловязкие (3...4 мм²/с при 100 °С), средневязкие (4...6 мм²/с при 100 °С) и вязкие (8...9 мм²/с при 100 °С и выше). Вязкость моторного масла определяет толщину масляной пленки на поверхностях трения и, следовательно, износ деталей ДВС, его прокачиваемость при низких температурах и

надежность смазывания при высоких температурах, а также потери на трение и расход топлива.

На вязкость моторного масла наиболее существенное влияние оказывает температура, и значительно меньше она изменяется под действием давления, электрических и магнитных полей и ряда других факторов. Например, в интервале температур от -18°C до 100°C вязкость загущенных моторных масел изменяется в $280\dots 600$ раз, у незагущенных минеральных масел изменение вязкости происходит в 1200 и более раз. При повышении давления от атмосферного до 60 МПа вязкость масла увеличивается в $2,5\dots 3,5$ раза. Известно также влияние на вязкость масла трибоэлектрических полей, образующихся в результате возникновения разности потенциалов на границе раздела фаз металл – масло и вызывающих электро-вязкостный эффект, проявляющийся в увеличении вязкости масла.

Одним из важнейших показателей качества моторного масла является зависимость его вязкости от температуры, изменяющаяся в широких пределах и характеризующаяся пологостью вязкостно-температурной характеристики (ВТХ). Для оценки пологости ВТХ в интервале температур $50\dots 100^{\circ}\text{C}$ используют отношение v_{50}/v_{100} . Чем меньше значение данного отношения, тем лучше ВТХ в данном температурном интервале. Для летних сортов масел $v_{50}/v_{100} \leq 6$, для зимних и северных – $v_{50}/v_{100} \leq 4$.

Пологость ВТХ в области более низких температур характеризует температурный коэффициент вязкости (ТКВ), определяемый из выражения

$$TKB_{0-100} = \frac{v_0 - v_{100}}{v_{50}},$$

где v_0 , v_{50} и v_{100} – кинематическая вязкость масла при 0 , 50 и 100°C .

Значения TKB_{0-100} для летних масел $\leq 35\dots 40$, для зимних ≤ 22 , для всесезонных ≤ 25 .

Однако наибольшее распространение для оценки пологости ВТХ получил метод определения индекса вязкости (ИВ).

Определение ИВ основано на сравнении свойств испытуемого масла с двумя эталонными маслами, одно из которых имеет ИВ = 0 , а другое – ИВ = 100 . ИВ масла может быть определен расчетным методом по следующей зависимости (для масел с ИВ < 100)

$$ИВ = \frac{L-U}{L-H} 100,$$

где L – кинематическая вязкость при 40°C масла с ИВ = 0 , $\text{мм}^2/\text{с}$;

U – кинематическая вязкость испытуемого масла при 40°C , $\text{мм}^2/\text{с}$;

H – кинематическая вязкость при 40°C масла с ИВ = 100 , $\text{мм}^2/\text{с}$.

Причем вязкость проверяемого и эталонных масел при 100°C одинакова.

Для масел с ИВ ≥ 100 используется выражение

$$ИВ = \frac{\text{anti log } N - 1}{0,00715} + 100,$$

где $N = (\log H - \log U) / \log v_{100}$.

На практике для определения ИВ чаще используют специальные таблицы или номограммы (рис. 3). По величине ИВ моторные масла подразделяются на низкоиндексные ($ИВ \leq 80$), среднеиндексные ($ИВ = 80 \dots 90$) и высокоиндексные ($ИВ$ равен $90 \dots 95$ и выше). Для изготовления современных высококачественных масел применяют также базовые масла со сверхвысоким индексом вязкости ($ИВ > 100$), представляющие собой продукты глубокой переработки нефти. Однако ИВ характеризует вязкостные свойства моторных масел только в области положительных температур, поэтому для зимних марок масел дополнительно указывают вязкость при температурах -18°C и ниже.

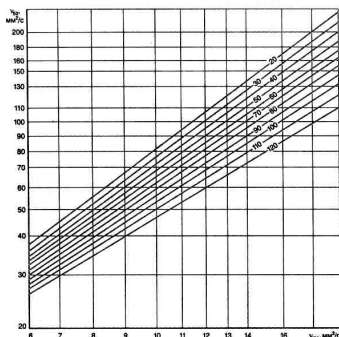


Рис.3. Номограмма для определения индекса вязкости моторного масла

В нормативной документации на зимние масла иногда нормируют кинематическую вязкость при низких температурах. Индекс вязкости минеральных масел без вязкостных присадок составляет $85-100$. Он зависит от углеводородного состава и глубины очистки масляных фракций. Углубление очистки повышает индекс вязкости, но снижает выход рафината. Синтетические базовые компоненты имеют индекс вязкости $120-150$, что дает возможность получать на их основе всесезонные масла с очень широким температурным диапазоном работоспособности. К низкотемпературным характеристикам масел относят *температуру застывания*, при которой масло не течет под действием силы тяжести, т.е. теряет текучесть. Она должна быть на $5-7^\circ \text{C}$ ниже той температуры, при которой масло должно обеспечивать прокачиваемость. В большинстве случаев застывание моторных масел обусловлено образованием в объеме охлаждаемого масла кристаллов парафинов. Требуемая нормативной документацией температура застывания достигается депарафинизацией базовых компонентов и/или введением в состав моторного масла депрессорных присадок (полиметакрилаты, алкилнафталины и др.). Понижая температуру застывания масла, депрессоры не влияют на вязкостные свойства.

Температура застывания. Низкотемпературные свойства масла, его прокачиваемость при отрицательных температурах характеризуются температурой застывания. Температурой застывания считают

температуру, при которой масло в пробирке, наклоненной под углом 45° , в течение 1 мин не изменяет своего положения. Для снижения температуры застывания в масла вводят депрессорные присадки. Температура застывания отечественных зимних сортов минеральных масел обычно не выше $-25 \dots -30^\circ \text{C}$. Полусинтетические и синтетические моторные масла имеют температуру застывания $-35 \dots -50^\circ \text{C}$ и ниже.

Температура вспышки. Данный показатель характеризует наличие в масле легкокипящих фракций и топлива и определяет испаряемость и расход масла, его взрывобезопасность и вредное воздействие на окружающую среду. Значение температуры вспышки минеральных масел обычно составляет $200 \dots 225^\circ \text{C}$, синтетических – $230 \dots 240^\circ \text{C}$ и выше. Для работавших масел предельное значение температуры вспышки равно в среднем $170 \dots 180^\circ \text{C}$.

Коксуемость. Склонность масла к образованию нагара и лаковых отложений на деталях ДВС характеризуется коксуемостью масла. Коксуемость моторных масел определяется массой коксового остатка, полученного при прокаливании навески масла без доступа воздуха, и выражается в процентах от массы навески. Вводимые в базовое масло присадки повышают его коксуемость.

Щелочное число. Важнейшей характеристикой способности масла предотвращать коррозионный износ деталей двигателя является его нейтрализующая способность, показателем которой служит щелочное число. Щелочное число моторного масла определяется, как количество КОН (в мг), эквивалентное количеству соляной кислоты, необходимой для нейтрализации всех основных соединений, содержащихся в 1 г анализируемого масла. Масла группы Г₂, применяемые для автотракторных дизелей, имеют щелочное число не менее $6 \dots 7,5$ мг КОН/г.

Кроме вышеперечисленных находят применение и такие показатели качества моторного масла, как термоокислительная стабильность, кислотное число, моющие свойства, коррозионность, зольность, стабильность по индукционному периоду осадкообразования, содержание активных элементов присадок, механических примесей и воды, и др., определяемые по специальным методикам.

3.2. Присадки к моторным маслам

Практически все современные моторные масла состоят из базового масла – основы, в которое для улучшения эксплуатационных свойств вводят различные химические соединения – присадки. Например, для зимних и летних моторных масел в качестве базовых применяют масла селективной очистки М-6 (дистиллятное), М-8, М-11, М-14, М-16 (смешанные) и МС-20 (остаточное) [2]. Однако необходимо помнить, что даже самые хорошие присадки не способны превратить низкокачественные базовые масла в высококачественные смазочные материалы.

Присадки в моторное масло впервые были введены фирмой «Castrol» в 1935 г. [1]. В связи с форсированием ДВС и неуклонным ростом требований к их качеству содержание в них присадок постоянно

увеличивается. Так, по данным С. В. Венцеля [4], среднее содержание присадок в моторных маслах в 1967 г. составляло 5 %, в 1969 – 10 %, в 1974 – 15 % и более [1]. Содержание присадок в современных моторных маслах достигает 20...30 % и более [5]. Основные типы присадок для современных моторных масел, и их свойства приведены в таблице 1.

Кроме приведенных в табл. 1 в последнее время разработаны присадки нового класса – металлсодержащие смазочные композиции, основными компонентами которых являются ультрадисперсные порошки меди, олова, свинца, цинка, алюминия, никеля, кобальта, кадмия, серебра и др. металлов.

В качестве примера можно привести присадку «Кластер», применение которой снижает износ деталей ДВС в 1,4...1,8 раза, момент трения в 1,37 раза, дымность отработавших газов (ОГ) на 20...30 %, повышает противозадирную стойкость в 1,4 раза, давление в системе смазки на 10...15 % [6-8]. Известна также присадка «РиМЕТ», разработанная на основе ультрадисперсной композиции из сплава меди, олова и серебра, применение которой снижает потери на трение, восстанавливает изношенные детали, повышает давление ММ в системе смазки карбюраторных и дизельных двигателей, восстанавливает компрессию, а также другие присадки к ММ аналогичного действия – Energy Release (ER), XER₂ (США), Lubrifilm Diamond, СуперМЕТ, Ресурс, Феном, Форсан, Униплак и др.

Т а б л и ц а 1. Типы, свойства и некоторые марки присадок для моторных масел

Типы и основные свойства присадок	Марки присадок
Антиокислительные и антикоррозионные – повышают стойкость масел против окисления, защищают металлы от воздействия кислот, нейтрализуют образующиеся в масле кислоты	Зольные: ДФ-1, ДФ-11, ДФБ, А-22, ВНИИ НП-354 Беззольные: ИНХП-21, АКОР-1, В-15/41, ВНИИ НП-715, Ионол, Борин, Агидол-2
Моющие-диспергирующие – предотвращают образование лаковых отложений на поверхностях деталей, препятствуют коагуляции частиц загрязнений и поддерживают их во взвешенном мелкодисперсном состоянии	Сульфонатные: ПМСя, ПМС «А», ПМС «Б», СБ-3, СК-11, КНД, С-150, С-300, НСК (СНГ), Paranox 24/26 (Exxon Chem, США), Hitec 611/614 (Ethyl, США), LZ 52/72 (Lubrizol, США), OLOA-246B/247B (Chevron, США), ADX 450/3000 (BP, Adibis, Англия), MX 3250/3280 (Mioil, Италия) Алкилфенольные: ЦИАТИМ-339, ВНИИ НП-350/360/370/371, БФК, ДФК, КФК, Ферад, ВНИИ НП-714, МАСМА-1603 (СНГ), LZ 6500 (Lubrizol), OLOA-218A/219 (Chevron), Paranox 52 (Exxon Chem), ADX 400/402 (BP, Adibis), TLA 327 (Texaco, США) Алкилсалицилатные: Детерсол Д-50, -140, -180, -300, Комплексал-100 (СНГ), SAP 001/002/005/007 (Shell, Англия), 405 Osla (Osla, Япония) Беззольные: С-5А, Дипол-40/45, ЛЗ-325, Днепрол, СД-73, ЭПОЛ (СНГ), LZ 890/894 (Lubrizol), Hitec 644/646 (Ethyl), OLOA-1200 (Chevron), SAP 220 (Shell)
Противоизносные, противоза-	АБЭС, АДТФ, БМА-5, ВИГОС, ЛЗ-309/2, ЛЗ-6/9,

дирные и антифрикционные – улучшают смазывающие свойства масел, снижают износ и предотвращают задиры, уменьшают потери на трение и расход топлива	ЛЗ-23К, Моника, Экомин, Фриктол, ИХП-14М, ТОС, МКФ-18/18Х, ЛКФ-85, ЛП-2, ПАФ-4, 13-23 К, ЭФО (СНГ), MoS ₂ , графит
Депрессорные – снижают температуру застывания масел	Депрессатор АзНИИ, АзНИИ-ЦИАТИМ-1, АФК, ПМА «Д», Депресал (СНГ)
Вязкостные (загущающие) – улучшают вязкостно-температурные свойства масел, повышают вязкость и индекс вязкости масел	КП-5, КП-10, КП-20, ПМА «В-1», ПМА «В-2», ВИНИПОЛ ВВ-2 (СНГ)
Антипенные – предотвращают пенообразование в маслах	ПМС-200А
Прирабочные – ускоряют процесс приработки деталей ДВС	«Г», АЛП-2
Многофункциональные – улучшают одновременно несколько свойств масла	АзНИИ-ЦИАТИМ-1, АзНИИ-7, АзНИИ-8, БФК, ВНИИ НП-370, ИХП-388, МНИ-ИП-22, ЦИАТИМ-339, 100-QR, KW 2515 и др.

Другим перспективным направлением является использование геомодификаторов трения (ГМТ) [9], представляющих собой присадки к маслу, созданные на основе природных минералов – слоистых силикатов, и иницирующие в трибосистемах самоорганизующиеся процессы. Применение ГМТ, позволяет повысить долговечность подшипников скольжения на 15...25 %.

Все более широкое применение находят металлолакирующие присадки Металл-5, Медь-1, Медь-2, БДМ и др., при использовании которых износ деталей ДВС уменьшается на 20...40%. Для снижения повреждения моторных масел в них вводят биоцидные присадки.

Производители ММ в странах СНГ все шире применяют присадки известных зарубежных фирм. Еще в СССР с 1989 г. при производстве масел М-8Г₂к, М-10Г₂к для автомобилей КамАЗ, МАЗ использовали пакеты присадок фирмы «Lubrizol». В России при производстве моторных масел применяется до 70 % присадок зарубежных фирм «Lubrizol», «Shell», «ESSO», «Chevron» и др.

3.3. Классификация смазочных масел по отечественным и международным стандартам

Руководство по эксплуатации автотракторной техники допускает применение моторных масел различных фирм-производителей, объединенных общей классификацией по вязкостным и эксплуатационным свойствам.

На упаковке с названием фирмы-изготовителя обязательно присутствуют буквенные и цифровые обозначения.

Классификация моторных масел согласно ГОСТ 17479.1-85 подразделяет их на классы по вязкости и группы по значению и уровням эксплуатационных свойств. В соответствии с этим стандартом моторные масла по вязкости делятся на три класса (зимние, летние и все-

зонные), а по эксплуатационным свойствам – на шесть групп, обозначаемых буквами А, Б, В, Г, Д и Е.

Зимние масла нормируются значением кинематической вязкости при температурах $+100^{\circ}\text{C}$ и -18°C , летние – при температуре $+100^{\circ}\text{C}$. Всесезонные масла обозначаются дробью, в числителе которой указывается класс вязкости зимнего, а в знаменателе - летнего масла (табл. 2). Ниже приведено описание отечественной классификации моторных масел с учетом изменения №3 к ГОСТ 17479.1-85, которым увеличено число классов вязкости и изменены их границы, введены новые группы по назначению и уровням эксплуатационных свойств, а также некоторые наименования.

Согласно ГОСТ 17479.1-85 моторные масла по уровню эксплуатационных свойств разделены на 6 групп, обозначаемых первыми шестью буквами русского алфавита и цифровыми индексами. Чем дальше от начала алфавита отстоит буква в маркировке моторного масла, тем выше уровень его качества.

Таблица 2. Классы вязкости моторных масел

Класс вязкости	Кинематическая вязкость, мм ² /с, при температуре	
	100 °С	-18 °С, не более
3 ₃	3,8	12500
4 ₃	4,1	2600
5 ₃	5,6	6000
6 ₃	5,6	10400
6	св.5,6 до 7,0 включ.	10400
8	7,0 ... 9,3	10400
10	9,3 ...11,5	10400
12	11,5 ... 12,5	10400
14	12,5 ... 14,5	10400
16	14,5 ... 16,3	10400
20	16,3 ... 21,9	10400
24	21,9 ... 26,1	10400
3 ₃ /8	7,0 ... 9,3	1250
4 ₃ /6	5,6 ... 7,0	2600
4 ₃ /8	7,0 ... 9,3	2600
4 ₃ /10	9,3 ...11,5	2600
5 ₃ /10	9,3 ...11,5	6000
5 ₃ /12	11,5 ...12,5	6000
5 ₃ /14	12,5...14,5	6000
6 ₃ /10	9,3 ... 11,5	10400
6 ₃ /14	12,5 ... 14,5	10400
6 ₃ /16	14,5 .. 16,3	10400

Соответствие масел той или иной группе устанавливается на основании результатов моторных и лабораторных испытания, включенных в Комплексы методов квалификационной оценки (КМКО), утвержденных Госстандартом РФ. Индексом "1" маркируются масла, предназначенные для эксплуатации бензиновых двигателей, индекс "2" предназначен для обозначения масел для дизелей. Универсальные масла, предназначенные для эксплуатации в обоих типах двигателей, цифрового индекса не имеют. В случае соответствия масла сразу нескольким

эксплуатационным классам, последние указываются друг за другом в порядке возрастания требований к качеству. Последним в маркировке моторного масла (в случае необходимости) стоит буквенно-цифровой индекс, характеризующий особенности применения данного конкретного масла.

Рекомендуемые для применения а автотракторных двигателях группы моторных масел отечественного производства в зависимости от эксплуатационных свойств представлены в табл. 3.

Таблица. 3. Группы моторных масел в зависимости от эксплуатационных свойств по ГОСТ 17479.1-85

Группа масла по эксплуатационным свойствам		Рекомендуемая область применения
А	-	Нефорсированные бензиновые двигатели и дизели
Б	Б₁	Малофорсированные бензиновые двигатели, работающие в условиях, которые способствуют образованию высокотемпературных отложений и коррозии подшипников.
	Б₂	Малофорсированные дизели
В	В₁	Среднефорсированные бензиновые двигатели, работающие в условиях, которые способствуют окислению масла и образованию отложений всех видов.
	В₂	Среднефорсированные дизели, предъявляющие повышенные требования к антикоррозионным, противоизносным свойствам масел и способности предотвращать образование высокотемпературных отложений.
Г	Г₁	Высокофорсированные бензиновые двигатели, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях, способствующих окислению масла, образованию отложений всех видов и коррозии.
	Г₂	Высокофорсированные дизели без наддува или с умеренным наддувом, работающие в эксплуатационных условиях, способствующих образованию высокотемпературных отложений.
Д	Д₁	Высокофорсированные бензиновые двигатели, работающие в эксплуатационных условиях, более тяжелых, чем для масел группы Г ₁ .
	Д₂	Высокофорсированные дизели с наддувом, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях или когда применяемое топливо требует использования масел с высокой нейтрализующей способностью, антикоррозионными и противоизносными свойствами, малой склонностью к образованию всех видов отложений.
Е	Е₁	Высокофорсированные бензиновые двигатели и дизели, работающие в эксплуатационных условиях, более тяжелых, чем для масел групп Д ₁ и Д ₂ .
	Е₂	Отличаются повышенной диспергирующей способностью, лучшими противоизносными свойствами.

Так, марка **М-6з/10В** указывает, что это моторное масло всесезонное, универсальное для среднефорсированных дизелей и бензиновых двигателей (группа В):

М-4з/8-В₂Г₁ - моторное масло всесезонное, универсальное для среднефорсированных дизелей (группа В₂) и высокофорсированных бензиновых двигателей (группа Г₁);

М-14Г₂(цс) - моторное масло класса вязкости 14, предназначено для высокофорсированных дизелей без наддува или с умеренным наддувом. В данном случае после основного обозначения в скобках указана дополнительная характеристика области применения ("цс" означает циркуляционное судовое);

М-14Д (цл20) - моторное масло для высокофорсированных дизелей с наддувом, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях, (цл20) - применимое в циркуляционных и лубрикаторных смазочных системах и имеющее щелочное число 20 мг КОН/г.

Таблица 4. Международная классификация моторных масел по вязкости SAE J300 DEC 99

Класс вязкости	Низкотемпературная (динамическая) вязкость,		Высокотемпературная вязкость		
	Проворачивание по методу ASTM D 5293 (вискозиметр CCS, имитация холодного пуска)	Прокачиваемость по методу ASTM D 4684 (вискозиметр MRV)	Кинематическая при 100 ⁰ C (по методу ASTM D 445), мм ² /с	Динамическая при 150 ⁰ C и скорости сдвига 10 ⁶ с ⁻¹ по ASTM D 4683 или SEC L-36-A-90, на коническом имитаторе подшипника МПа·с, не менее	
	Максимальная вязкость, мПа·с, при температуре		min	—	—
0w	6 200 при -35 ⁰ C	60 000 при -40 ⁰ C	3,8	—	—
5w	6 660 при -30 ⁰ C	60 000 при -35 ⁰ C	3,8	—	—
10w	7 000 при -25 ⁰ C	60 000 при -30 ⁰ C	4,1	—	—
15w	7 000 при -20 ⁰ C	60 000 при -25 ⁰ C	5,6	—	—
20w	9 500 при -15 ⁰ C	60 000 при -20 ⁰ C	5,6	—	—
25w	13 000 при -10 ⁰ C	60 000 при -15 ⁰ C	9,3	—	—
20	—	—	5,6	9,3	2,6
30	—	—	9,3	12,5	2,9
40	—	—	12,5	16,3	2,9*
40	—	—	12,5	16,3	3,7**
50	—	—	16,3	21,9	3,7
60	—	—	21,9	26,1	3,7

* - для классов SAE 0w-40, 5w-40, 10w-40; ** - для классов SAE 40, 15w-40, 20w-40, 25w-40

В большинстве развитых стран мира общепринятой служит классификация моторных масел по вязкости, установленная SAE (Американским обществом автомобильных инженеров) в стандарте SAE J300 DEC 99, введенная в действие с августа 2001 г., (табл. 4). Данная классификация содержит 11 классов: 6 зимних - 0w, 5w, 10w, 15w, 20w, 25w (w - winter, зима) и 5 летних - 20, 30, 40, 50, 60. Всесезонные масла имеют двойное обозначение через дефис, причем первым указывается зимний (с индексом w) класс, а вторым - летний, например SAE 5w-40, SAE 10w-30 и т.д. Зимние масла характеризуются двумя максимальными

значения низкотемпературной (динамической, в отличие от кинематической для ГОСТ) вязкости и нижний предел кинематической вязкости при 100°C. Летние масла характеризуют пределы кинематической вязкости при 100°C, а также минимальное значение динамической высокотемпературной (при 150°C) вязкости и градиенте скорости сдвига 10^6 с^{-1} .

В обеих вязкостных классификациях (ГОСТ, SAE), чем меньше цифра в числителе с индексом "з" (ГОСТ) или перед буквой "w" (SAE), тем меньше вязкость масла при низкой температуре и соответственно легче холодный пуск двигателя. Чем больше цифра, стоящая в знаменателе (ГОСТ) или после дефиса (SAE), тем больше вязкость масла при высокой температуре и надежнее смазывание двигателя в летнюю жару.

В таблице 5 приведено примерное соответствие классов вязкости моторных масел по ГОСТ 17479.1-85 классам вязкости по SAE J-300.

Таблица 5. Примерное соответствие классов вязкости моторных масел 5 по ГОСТ 17479.1-85 классам вязкости по SAE J-300

Класс вязкости		Класс вязкости	
по ГОСТ 17479.1-85	по SAE J 300	по ГОСТ 17479.1-85	по SAE J-300
3з	5w	24	60
4з	10w	3з/8	5w-20
5з	15w	4з/6	10w-20
6з	20w	4з/8	
6	20	4з/10	10w-30
8		5з/10	15w-30
10		5з/12	
12	30	5з/14	15w-40
14		6з/12	20w-30
16	40	6з/14	20w-40
20		6з/16	

Наиболее известной международной классификацией моторных масел по областям применения и уровню эксплуатационных свойств является классификация API (*Американского института нефти*). Со времени введения (1947 г.) данная классификация неоднократно дополнялась, однако принцип разделения масел на 2 категории (S и C) сохранился до настоящего времени.

В данной системе классификации моторные масла маркируются двухбуквенным индексом. Первая буква означает категорию: к категории "S" (Service) относятся масла для 4-х тактных бензиновых двигателей, к категории "C" (Commercial) - масла, предназначенные для дизелей автомобильного транспорта, внедорожной строительной и сельскохозяйственной техники. Универсальными называют масла, которые могут применяться для смазывания бензиновых и дизельных двигателей. Второй буквой является показатель группы масла по уровню эксплуатационных свойств. Чем дальше от начала латинского алфавита расположена буква, тем выше уровень эксплуатационных свойств моторного масла.

В настоящее время в категории "S" классификация API включает 11 классов масел в следующем порядке возрастания требований к их качеству (SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG, SH, SJ, SL, SM), а в категории "C" - 12 классов (CA, CB, CC, CD, CD-II, CE, CF, CF-4, CF-2, CG-4, CH-4 и CI-4). Цифры при обозначении классов CD-II, CF-4, CF-2 и CG-4 дают дополнительную информацию об использовании данного класса масел в 2-тактных или 4-тактных дизелях соответственно. Для обозначения универсальных масел принята двойная маркировка, например, SF/CC, SG/CD, CF-4/SH и т.п. (табл. 6).

Т а б л и ц а 6. Классификация API моторных масел по эксплуатационным свойствам и областям применения

Классы масел	Рекомендуемая область применения
1	2
Категория S (масла для бензиновых двигателей)	
SA*	Двигатели, работающие в легких условиях
SB*	Двигатели, работающие при умеренных нагрузках
SC*	Двигатели, работающие с повышенными нагрузками (модели выпуска до 1964 г.)
SD*	Двигатели, работающие в тяжелых условиях (модели выпуска до 1968 г.)
SE*	Двигатели, работающие в тяжелых условиях (модели выпуска до 1972 г.)
SF*	Двигатели, работающие в тяжелых условиях на неэтилированном бензине.
SG*	Двигатели выпуска с 1989 г.
SH	Масла, предназначенные для бензиновых двигателей автомобилей, выпущенных в 1994 г. и ранее, заменяют масла класса SG.
SJ	Те же, но с введением дополнительных требований в отношении расхода масла в двигателе, энергосберегающих свойств (экономии топлива) и способности выдерживать нагрев, не образуя отложения.
SL	Для двигателей, выпуска 2004 г. и ранее.
SM	Введена с 30 ноября 2004. Масла категории SM созданы для обеспечения повышенного сопротивления окислению, повышенной защиты от отложений, лучшей защиты от износа, с лучшими низкотемпературными свойствами при увеличенных сроках службы масла (Пример: Mobil USA SuperSyn 0W-40)
Категория C (масла для дизелей)	
CA*	Двигатели, работающие при умеренных нагрузках на малосернистом топливе
CB*	Двигатели без наддува, работающие при повышенных нагрузках на сернистом топливе
CC*	Двигатели (в т.ч. с умеренным наддувом), работающие в тяжелых условиях
CD*	Двигатели с высоким наддувом, работающие в тяжелых условиях на высокосернистом топливе
CD-II*	То же, с учетом специфических требований двухтактных дизелей
CE*	Двигатели с высоким наддувом (модели выпуска до 1983 г.), эксплуатируемые в тяжелых условиях (высокие нагрузки, малая частота вращения)
CF	Масла, предназначенные для дизелей внедорожной техники, имеющих разделенную камеру сгорания и работающие на топливе с повышенным содержанием серы (до 0,5%)

1	2
CF-4	Масла, предназначенные для 4-тактных дизелей грузовых автомобилей, осуществляющих перевозки по автострадам. Обладают лучшими моющими свойствами, чем масла класса SE и могут заменять их в дизелях, выпущенных до 1990 г.
CF-2	Масла, предназначенные для 2-тактных дизелей транспортных средств; заменяют масла класса CDII, так как обладают лучшими моющими и противоизносными свойствами.
CG-4	Масла, предназначенные для 4-тактных дизелей, внедорожных машин и грузовых автомобилей, выполняющих по токсичным выбросам нормы, установленные в США с 1994 г. В сравнении с маслами класса CF-4 обладают лучшими моющими, противоизносными, антикоррозионными свойствами, меньшей вспениваемостью при высокой температуре и хорошо сочетаются с малосернистыми дизельными топливами (содержание серы менее 0,05%). Заменяют масла CF-4 в ранее выпущенных двигателях.
CH-4	Для высокоскоростных четырехтактных дизелей грузовых автомобилей, а также дизелей внедорожной техники, работающие как на малосернистом (менее 0,05% серы), так и на сернистом (менее 0,5% серы) топливе, отвечающих нормам 1998 г. по токсичности выбросов. Заменяют масла классов CD, SE, CF-4 и CG-4.
CI-4	Для высокоскоростных четырехтактных дизелей, по токсичности выбросов отвечающих нормам, введенным с октября 2002 г. Может использоваться в дизелях, оснащенных системой рециркуляции выхлопных газов EGR (Exhaust Gas Recirculation), работающих на сернистом (менее 0,5% серы) топливе, и в обычных дизелях (без EGR), полностью заменяя масла всех ранних спецификаций - CH-4, CG-4 и CF-4. Масла, обозначаемые CI-4 Plus, по сравнению с обычными маслами класса CI-4, обладают повышенными диспергирующими свойствами и механической стабильностью.

* Эти классы масел отменены

В настоящее время в настоящее время API выдает лицензии на выпуск масел только высших категорий качества (не ниже SH), предназначенных для бензиновых двигателей не позднее 1994 г. выпуска. Для эксплуатации бензиновых двигателей, выпущенных после 1997 года, предназначены масла класса SJ. Наиболее совершенное масло категории SL на частично или полностью синтетической основе с высокоэффективным пакетом присадок надлежит эксплуатировать в самых совершенных бензиновых турбонаддувных, многоклапанных двигателях производства 2001 г. и позже, вынужденных работать в наиболее напряженных условиях. Для дизельных масел лицензии API выдаются на продукты категории качества не ниже CF. Однако при поставке масел на экспорт и при их производстве в третьих странах могут вырабатываться масла и более низких классов по API. Примерное соответствие групп моторных масел по уровню эксплуатационных свойств по ГОСТ 17479.1-85 и API представлено в табл. 7.

Американские и японские автомобилестроители, сотрудничая в рамках Международного комитета по стандартизации и одобрению смазочных материалов (ILSAC), разработали минимальные стандартные требования к моторным маслам для автомобильных бензиновых двигателей. Классификация ILSAC содержит два класса масел, обо-

значаемых GF-1 и GF-2. С 2002 г. вводятся новые требования GF-3, а с 2004 г. ожидается введение требований GF-4. По уровню требований к эксплуатационным свойствам они практически идентичны требованиям к маслам классов SJ и SL по API, но обязательно предъявляются высокие требования по экономии топлива и отсутствию компонентов, отрицательно влияющих на каталитический дожигатель отработанных газов.

Таблица 7. Примерное соответствие групп моторных масел по уровню эксплуатационных свойств по ГОСТ 17479.1-85 и API

Класс вязкости		Класс вязкости	
по ГОСТ 17479.1-85	по API	по ГОСТ 17479.1-85	по API
A	SB	D ₁	SF
B ₁	SC	D ₂	CD
B ₂	CA	E ₁	SG
B	SC/CA	E ₂	CF, CF-4
B ₁	SD	Нет аналогов в отечественной классификации	SH
B ₂	CB		SJ
B	SD/CB		CG-4
G ₁	SE		CH-4
G ₂	CC		SL
G	SE/CC		CI-4

По классификации ILSAC при испытаниях на стандартизованном моторном стенде SEQ IIIЕ, масла группы GF-1, должны экономить не менее 1,5% бензина (Energy Conserving I), а масла группы GF-2 (Energy Conserving II) - 2,3% в сравнении с работой двигателя на эталонном масле класса вязкости 15W-40.

Масла, сертифицированные по API на соответствие требованиям ILSAC, маркируются стандартным символом (знаком качества в виде шестеренки с текстом внутри рисунка на английском языке: "Американский институт нефти, для бензиновых двигателей, сертифицировано"). Классификация масел по API на получение знака "Донат" в сочетании со знаком ILSAC характерна для американских производителей масел и не нашла широкого применения в Европе.

Несмотря на исторический приоритет, в настоящее время американская классификация API утрачивает свою монополию в Европе. Учитывая тот факт, что основными критериями эксплуатационных свойств масел являются результаты испытаний на специальных серийных двигателях, различия в конструктивных решениях и методиках определения свойств моторных масел привели к появлению европейской классификации ACEA.

Европейская ассоциация автомобильных производителей (ACEA), в которую входят ведущие гиганты автомобилестроения: BMW, DAF, Ford of Europe, General Motors Europe, MAN, Mercedes-Benz, Peugeot, Porsche, Renault, Rolls-Royce, Rover, Saab-Scania, Volkswagen, Volvo, FIAT и др. ввела с 1996 г. новую классификацию моторных масел, которая базируется на европейских методах испытаний, а также использует некоторые общепризнанные американские моторные и физико-

химические методы испытаний по API, SAE и ASTM. Данная классификация заменила существовавшую с середины 90-х годов классификацию ССМС (Комитет автопроизводителей стран общего рынка).

С 1 марта 1998 года требования к эксплуатационным свойствам моторных масел были ужесточены, что нашло отражение в новом европейском стандарте ACEA-98. В 1998-99 гг. происходило уточнение и дополнение классификации ACEA 98-99 с исключением старых и введением новых классов, требования которых обязательны к выполнению с 1 сентября 2000 г. В 2004 г. состоялся очередной пересмотр классификации моторных масел, оформленный в виде стандарта ACEA 2004.

В отличие от американской классификации API, в которой до сих пор не выделены в самостоятельный класс масла для дизелей легковых автомобилей, европейская - ACEA классифицирует моторные масла на три основные категории по назначению: А - для бензиновых двигателей; В - для дизельных двигателей легковых автомобилей; С- масла, совместимые с каталитическими нейтрализаторами отработавших газов; Е - для дизельных двигателей грузовых автомобилей.

Внутри каждой категории эксплуатационные свойства соответствующих масел выделены в отдельные группы, обозначаемые цифрой после буквы. Чем больше цифра, тем в более жестких условиях работает двигатель и, соответственно, выше требования к качеству масла. Последние две цифры (через дефис) в маркировке масла обозначают год введения данной категории. Для некоторых новых классов оставлено обозначение старого класса, но с добавлением более позднего номера выпуска.

Классификация эксплуатационных свойств моторных масел по ACEA приведена в табл. 8.

Таблица 8. Классификация эксплуатационных свойств моторных масел по ACEA (2004 г.)

Категория и класс по ACEA	Область и условия применения
1	2
A/B:	масла для бензиновых и дизельных двигателей легковых автомобилей По ACEA 2004 категории А (бензиновые двигатели) и В (дизельные двигатели легковых автомобилей и фургонов) объединены, как например, А1/В1, что значительно сблизило с реальными условиями применения. Категории А2 и В2 отменены как устаревшие и разрешены к использованию для тех автомобилей (старых моделей), для которых рекомендованы масла подобных категорий.
A1/В1	Масла, предназначенные для бензиновых и дизельных двигателей легковых автомобилей и фургонов, допускающих применение масел, имеющих пониженную вязкость (2.6-3.5 мПа·с) при высоких температурах и скоростях сдвига.
A3/В3	Масла с высокой стабильностью свойств, предназначенные для применения в высокопроизводительных бензиновых и дизельных двигателях легковых автомобилей и легких фургонов и при указаниях автопроизводителей допускаются удлиненные интервалы замены, круглогодичное использование масел с низкой вязкостью, применение в тяжелых режимах эксплуатации, если это определено производителем двигателя

1	2
A3/B4	Масла с высокой стабильностью свойств, предназначенные для применения в высокопроизводительных бензиновых и дизельных двигателях с непосредственным впрыском топлива легковых автомобилей и легких фургонов, также подходит для применения, описанных в категории В3.
A5/B5	Масла с высокой стабильностью свойств, предназначенные для применения в высокопроизводительных бензиновых и дизельных двигателях легковых автомобилей и фургонов при увеличенных интервалах замены, допускающих применение масел, имеющих пониженную вязкость (2.6-3.5 мПа·с) при высоких температурах и скоростях сдвига.
<p align="center">С: масла, совместимые с каталитическими нейтрализаторами отработавших газов</p> <p>В классификации ACEA 2004 введен новый класс С для low SAPS oils масел с пониженным содержанием зольных элементов в своем составе и с ограничением по содержанию фосфора и серы в связи с установкой на современные автомобили специальных устройств (для обеспечения норм по экологии) катализаторов нейтрализации отработавших газов, очень чувствительных к составу топлива и моторных масел, а именно, к продуктам их сгорания, попадающих в систему выхлопа.</p>	
C1	Масла с высокой стабильностью свойств, предназначенные для применения в высокопроизводительных бензиновых и дизельных двигателях с DPF* и TWC* * легковых автомобилей и фургонов, допускающих применение масла с низкой вязкостью при высоких температурах и скоростях сдвига, выше 2,9 мПа·с. Увеличивают ресурс катализатора нейтрализации отработавших газов типа TWC и фильтра DPF и обеспечивают экономию топлива.
C2	Масла с высокой стабильностью свойств, предназначенные для применения в высокопроизводительных бензиновых и дизельных двигателях с DPF* и HTWC** легковых автомобилей и фургонов, допускающих применение масла с низкой вязкостью при высоких температурах и скоростях сдвига, выше 2,9 мПа·с. Увеличивают ресурс катализатора нейтрализации отработавших газов типа TWC и фильтра DPF и обеспечивают экономию топлива.
C3	Масла с высокой стабильностью свойств, предназначенные для применения в высокопроизводительных бензиновых и дизельных двигателях с DPF* и TWC** легковых автомобилей и фургонов. Увеличивают срок службы фильтра DPF, катализатора TWC и обеспечивают экономию топлива.
*TWC Three Way Catalyst трехкомпонентный каталитический нейтрализатор	
**DPF Diesel Particular Filter фильтр твердых частиц выхлопа дизельных двигателей	
<p align="center">Е: масла для мощных дизельных двигателей грузовых автомобилей, автобусов</p> <p>Введены новые категории - E6 и E7, приравненные к категории API CI-4. Категории E3 (перешла в категорию E 4) и E5 (перешла в категорию E7) отменены.</p>	
E2	Предназначены для широкого применения в дизельных двигателях с и без турбонаддува грузовых автомобилей, работающих в средних и тяжелых условиях и с нормальным интервалом замены. Масло категории качества SHPD (Super High Performance Diesel), соответствует требованиям MB 228.1, MAN 271.
E4	Масла с высокой стабильностью свойств, обеспечивающие отличную чистоту поршней, эффективно снижают износ и препятствуют росту вязкости масла при накоплении сажи, устойчивы к старению. Рекомендуются для дизельных двигателей, удовлетворяющих требованиям Euro 1, Euro 2, Euro 3, работающих в особо тяжелых условиях. Обеспечивают удлиненный интервал замены согласно рекомендациям производителя двигателя. Подходят для применения в двигателях без фильтра твердых частиц выхлопа (DPF), для некоторых двигателей с рециркуляцией выхлопных газов (EGR) и оборудованных селективным катализатором нейтрализации отработавших газов NOx (SCR NOx reduction system). Соответствуют требованиям MB 228.5, MAN M3277.

1	2
E6	Масла с высокой стабильностью свойств, обеспечивающие отличную чистоту поршней, эффективно снижают износ и препятствуют росту вязкости масла при накоплении сажи, устойчивы к старению. Рекомендуются для дизельных двигателей, удовлетворяющих требованиям Euro1, Euro 2, Euro3 и Euro 4, работающих в особо тяжелых условиях. Обеспечивают удлинённый интервал замены согласно рекомендациям производителя двигателя. Подходят для применения в двигателях с и без фильтра твердых частиц выхлопа (DPF), в двигателях с селективным катализатором нейтрализации отработавших газов NOx (SCR Nox reduction system). Особенно удовлетворяет требованиям двигателя, оборудованного фильтром твердых частиц выхлопа, и работающем на малосернистом топливе (максимум 50 ppm).
E7	Масла с высокой стабильностью свойств, обеспечивающие особо высокую чистоту поршней, предотвращают полирование стенок цилиндров, износ и образование отложений в турбокомпрессоре; уменьшают рост вязкости при накоплении сажи; устойчивы к старению. Рекомендуются для дизельных двигателей, удовлетворяющих требованиям Euro 1, Euro 2, Euro 3, работающих в особо тяжелых условиях. Обеспечивают удлинённый интервал замены согласно рекомендациям производителя двигателя. Подходят для применения в двигателях без фильтров твердых частиц выхлопа (DPF), для двигателей, оборудованных системой рециркуляции выхлопных газов (EGR) и селективным катализатором нейтрализации отработавших газов NOx (SCR NOx reduction system).

Примеры обозначений: A1-98; B3-98 выпуск 2; E3-96 выпуск 4; B5-02 и т.д.

В группы A1, B1, A5, B5 выделены специальные маловязкие, так называемые энергосберегающие масла, снижающие трение и позволяющие тем самым экономить не менее 2,5% топлива. При этом по остальным эксплуатационным свойствам эти масла должны быть не хуже уровня 2.

Примерное соответствие европейской (ACEA) и американской (API) классификаций моторных масел представлено в табл. 9.

Таблица 9. Таблица примерного соответствия европейской (ACEA) и американской (API) классификаций моторных масел

ACEA 98-99					ACEA 2002				
A1-98	A2-96 выпуск 2	A3-98	A3-99	A5-01	A1-02	A2-96 выпуск 3	A3-02	A5-02	
API					API				
SH		SJ		SL	нет соответствия				
ACEA 98-99					ACEA 2002				
B1-98	B2-98	B3-98	B4-98 (99)	B5-01	B1-02	B2-98 выпуск 2	B3-98 выпуск 2	B4-02	B5-02
API					API				
CE		CF-4	CG-4	CH-4	нет соответствия				
ACEA 98-99					ACEA 2002				
E1-96 выпуск 2	E2-96 выпуск 3	E3-96 выпуск 3	E4-99	E5-99	E1-96 выпуск 4	E2-96 выпуск 4	E4-99 выпуск 2	E5-02	
API					API				
CD		CF-4	CG-4	CH-4	нет соответствия				

* Определяется до момента введения стандартов на нормирование динамической вязкости при отрицательных температурах;

* - Масло класса 8 нередко используют как в летний, так и в зимний период эксплуатации.

Маркировка моторного масла для европейского рынка должна содержать 4 параметра: вязкость (по SAE), эксплуатационные свойства по американской (API) и европейской (ACEA) классификациям, одобрение фирм-производителей автомобилей.

Пример маркировки моторного масла: SAE 5W-50; API SJ/CF ACEA A3/B3; MB 229.1, BMW, VW 501.01/505.00, Porsche.

Указанная маркировка означает:

– по вязкостно-температурным свойствам SAE 5W-50 данное моторное масло относится к всесезонным маслам, сочетающим в себе зимний (SAE 5W) и летний (SAE 50) классы вязкости;

– эксплуатационные свойства API SJ/CF по американской классификации API свидетельствуют, что масло может быть использовано для бензиновых двигателей легковых автомобилей, выпускаемых с конца 1996 г. (SJ), а также для дизелей легковых автомобилей, выпускаемых с 1993 г. (CF);

– эксплуатационные свойства ACEA A3 и B3 по европейской классификации ACEA свидетельствуют, что это масло экстракласса для бензиновых двигателей скоростных легковых автомобилей, предъявляющих особые требования к противоокислительным, вязкостным и противоизносным свойствам (A3), а также масло экстракласса для легковых дизельных двигателей с турбонаддувом (B3);

– коды одобрения фирм-производителей MB 229.1, BMW, VW 501.01/505.00 и Porsche указывают, что масло может быть использовано для двигателей легковых автомобилей фирмы Mercedes-Benz выпуска с 1997 г. (MB 229.1), одобрено к применения для двигателей BMW и Porsche, используется как всесезонное масло (VW 501.01) для двигателей автомобилей Volkswagen и Audi и двигателей с турбонаддувом (VW 505.00) этих же заводов-изготовителей.

3.4. Ассортимент моторных масел для ДВС

3.4.1. Масла для бензиновых двигателей

Четырехтактные бензиновые двигатели - преобладающий тип двигателей легковых автомобилей, микроавтобусов, легких и среднетоннажных грузовиков. Условия работы моторных масел в этих транспортных средствах характеризуются очень высокими термическими нагрузками при езде вне городов и резко переменными режимами работы при езде в городах, где часты остановки, поездки на короткие расстояния, при которых двигатель не прогревается до оптимальной температуры масла и охлаждающей жидкости. Этим обусловлены специфические требования к маслам для четырехтактных бензиновых двигателей: с одной стороны, способность предотвращать образование высокотемпературных отложений (нагары, лак на деталях цилиндропоршневой группы), особо высокая стойкость к окислению; с другой стороны, способность предотвращать образование низкотемператур-

ных отложений (осадки, шламы в картере, на сетке маслоприемника и других деталях) и защищать детали двигателя от ржавления под действием конденсирующихся в непрогретом или остывающем двигателе продуктов сгорания топлива.

Двухтактные бензиновые двигатели, устанавливаемые на мопедах, мотороллерах, мотоциклах, снегоходах, моторных лодках, а также бензопилах, газонокосилках, часто смазывают маслами, которые предварительно растворяют в топливе и которые сгорают вместе с ним. Специфические требования к маслам для двухтактных бензиновых двигателей - смешиваемость с бензинами, полная растворимость в них, способность предотвращать закоксовывание поршневых колец, образование отложений на поршне, в выпускных окнах и глушителе, повреждение поверхностей трения поршня и цилиндра (задиры, риски), защита деталей двигателя от ржавления, малая зольность для обеспечения работы свечей зажигания и предотвращения преждевременного воспламенения рабочей смеси от зольных отложений в камере сгорания, малое влияние на токсичность отработавших газов (дымность). Масла для четырехтактных бензиновых двигателей этими свойствами не обладают.

При выборе масел для конкретных объектов техники следует руководствоваться инструкциями по эксплуатации, где указаны сроки смены масел и масляных фильтров и другие операции по техническому обслуживанию смазочной системы двигателя, а для двухтактных двигателей - рекомендуемое соотношение масло: топливо.

Моторные масла групп Г₁, В и В₁

Масла группы Г₁ предназначены для использования в форсированных двигателях легковых автомобилей, которые работают на бензинах с октановым числом по исследовательскому методу выше 90. Эти масла содержат высокоэффективные композиции отечественных присадок или пакеты импортных присадок. Их готовят на основе дистиллятных компонентов, загущенных макрополимерными присадками.

Масла групп В и В₁ предназначены для двигателей легковых и грузовых автомобилей, работающих на бензине с октановым числом до 80. Их применяют все сезонно. Они содержат композиции отечественных присадок или пакеты импортных присадок, добавляемых к дистиллятным или компаундированным базовым маслам.

моторное масло М-5з/10Г1 (ГОСТ 10541-78) готовят на базовом масле И-20А. Используют в регионах с низкими температурами зимних месяцев как все сезонное.

моторное масло М-6з/12Г1 (ГОСТ 10541-78) готовят на основе смеси дистиллятных компонентов различной вязкости с добавлением присадок, обеспечивающих высокие противоизносные свойства. Применяют все сезонно в регионах с умеренными климатическими условиями при температуре воздуха от -20 до +45 °С.

моторное масло М-4з/6В1 (ГОСТ 10541-78) получают загущением базового масла (веретенное АУ) полиметакрилатной присадкой и добавлением композиции моющих, антиокислительной и противопенной

присадок. Применяют всесезонно в северной климатической зоне и в районах с умеренными климатическими условиями только как зимнее масло. Обеспечивает холодный пуск двигателя при -30°C .

моторное масло М-6з/10В (ГОСТ 10541-78) получают на основе высококачественного компаундированного базового масла и эффективной композиции присадок. Применяют всесезонно в среднефорсированных бензиновых двигателях и безнаддувных дизелях. Это универсальное масло отличается повышенной работоспособностью. В бензиновых двигателях грузовых автомобилей пробег до замены масла составляет 18 тыс. км, а в дизелях - до 500 моточасов.

моторное масло М-8В (ГОСТ 10541-78) готовят из смеси дистиллятного и остаточного компонентов или дистиллятного компонента узкого фракционного состава с эффективной композицией присадок. Используют всесезонно в среднефорсированных бензиновых двигателях легковых и грузовых автомобилей с периодичностью замены до 18 тыс. км пробега, а также как зимнее масло для среднефорсированных автотракторных дизелей.

Основные характеристики масел приведены в табл. 1 приложения.

3.4.2. Масла для дизельных двигателей

Дизели отличаются от других двигателей внутреннего сгорания большим разнообразием конструкций, способов смесеобразования, назначений, условий эксплуатации и чрезвычайно широким диапазоном агрегатных мощностей (от нескольких киловатт до десятков тысяч). Поэтому ассортимент дизельных масел значительно различается по предъявляемым к ним требованиям и эксплуатационным свойствам. Важнейшие критерии, определяющие выбор смазочного масла, - тип и назначение дизеля, уровень его форсирования, степень жесткости условий эксплуатации, вид и качество применяемого топлива. Инструкции по эксплуатации техники содержат информацию о допущенных к применению марках масел, регламентах обслуживания смазочных систем дизелей, включая сроки замены или показатели предельного состояния масел.

Все дизельные масла содержат присадки, вводимые в дистиллятные, компаундированные или остаточные базовые масла селективной очистки, выработанные из малосернистых или сернистых нефтей. Диапазон уровней эксплуатационных свойств дизельных масел охватывает все группы классификации ГОСТ 17479.1-85.

Масла групп А и Б₂

Масла групп А и Б₂ предназначены для дизелей старых моделей, работающих на топливах с небольшим содержанием серы. Спрос на масла этих групп сохраняется в большинстве случаев в силу традиции и невысокой цены. За редкими исключениями масла групп А и Б₂ могут быть заменены более эффективными маслами группы В₂ того же класса вязкости.

Масло МС-20П (ТУ 38.101265-88) получают добавлением многофункциональной присадки к маслу МС-20. Применяют для смазывания судовых, тепловозных и стационарных дизелей типа 12ЧН 18/20, эксплуатируемых на малосернистом топливе.

Масло М-16ПЦ (ГОСТ 6360-83) вырабатывают из сернистых нефтей. Содержит многофункциональную и депрессорную присадки. Применяют для смазывания двигателей типов В-2, Д-6 при работе на малосернистом топливе.

Масло М-14Б (ТУ 38.101264-72) вырабатывают из малосернистых и сернистых нефтей компаундированием дистиллятного и остаточного компонентов с многофункциональной присадкой ВНИИНП-360 и противопенной присадкой ПМС-200А. Применяют в двух- и четырехтактных тепловозных дизелях типов 2Д100, Д-50 и аналогичных им по уровню форсирования маневровых и промышленных тепловозах.

Масло МТЗ-10П (ГОСТ 25770-83) готовят на основе маловязкого дистиллятного компонента с нормированным фракционным составом путем загущения полимерной вязкостной присадкой и добавления композиции присадок. Применяют преимущественно для зимней эксплуатации транспортных дизелей невысокой степени форсирования.

Масло МТ-16П (ГОСТ 6360-83) вырабатывают из малосернистых нефтей компаундированием смеси остаточного и дистиллятного компонентов с композицией моющей, антиокислительной, депрессорной и противопенной присадок. С использованием новой, более эффективной композиции присадок уровень эксплуатационных свойств масла МТ-16П превышает требования к маслам группы В2. Применяют для смазывания транспортных дизелей типа В-2 и аналогичных по уровню форсирования безнаддувных двигателей.

Основные характеристики масел приведены в табл. 2 приложения.

Масла группы В₂

Масла группы В₂ вырабатывают из малосернистых и сернистых нефтей. Они содержат композиции присадок, придающие маслам эксплуатационные свойства, обеспечивающие надежное смазывание безнаддувных автотракторных дизелей старых моделей, а также судовых, тепловозных, стационарных и транспортных дизелей среднего уровня форсирования при работе на дистиллятных дизельных топливах с содержанием серы до 0,5 % (мас. доля).

Масла М-8В₂ (ТУ 38.401-58-37-92) и **М-10В₂** (ГОСТ 8581-78) готовят на основе смесей дистиллятного и остаточного компонентов, выработанных из сернистых нефтей. Применяют для смазывания автотракторных дизелей СМД-14, А-41, Д-50, Д-37М и других зимой (М-8В₂) и летом (М-10В₂).

Масло М-10В₂С (ГОСТ 12337-84) производят преимущественно из малосернистых нефтей путем компаундирования дистиллятного и остаточного компонентов с композицией присадок. Применяют для смазывания главных и вспомогательных дизелей морских и речных судов, дизель-генераторов, а также в циркуляционных системах двухтактных

крейцкопфных судовых дизелей. Может быть использовано в авто-тракторных дизелях наравне с летним маслом М-10В₂.

Масло М-14В₂ (ГОСТ 12337-84) получают смешением дистиллятного и остаточного компонентов, выработанных из сернистых или малосернистых нефтей, с композицией присадок. Используют для смазывания двух- и четырехтактных тепловозных и судовых дизелей тронкового типа при их эксплуатации на дистиллятных дизельных топливах с содержанием серы до 0,5 % (мас. доля), а также двигателей карьерных автосамосвалов.

Масло **М-20В₂Ф** (ГОСТ 12337-84) состоит из остаточного базового масла, получаемого из сернистых нефтей, и специальной композиции присадок без дитиофосфатов цинка. Применяют для смазывания судовых дизелей типов 12ЧН 18/20 и ЧН 16/17, имеющих повышенную степень форсирования или эксплуатируемых с увеличенными сроками замены масла.

Масла **М-14В₂З** и **М-20В₂** (ГОСТ 23497-79) вырабатывают с использованием соответственно средневязкого компаундированного и остаточного компонентов. К этим базовым маслам, получаемым из сернистых нефтей, добавлены композиции присадок, выбранные с учетом условий применения масел для смазывания дизелей буровых установок зимой и летом. Масло М-14В₂З (зимнее) загущено вязкостной присадкой, но не является всесезонным.

Масло **М-16В₂** (ТУ 38.101235-74) состоит из смеси остаточного и дистиллятного компонентов, получаемых из малосернистых нефтей, и композиции присадок. Предназначено для смазывания главных двигателей речных судов.

Масло **М-16ИХП-З** (ГОСТ 25770-83) производят из смеси остаточного и дистиллятного компонентов, вырабатываемых из сернистых нефтей. Содержит специфическую композицию присадок. Применяют для смазывания форсированных транспортных дизелей, включая и двигатели с наддувом.

Основные характеристики масел приведены в табл. 3 приложения.

Масла группы Г₂

Масла группы Г₂ вырабатывают из сернистых и малосернистых нефтей. Все масла этой группы содержат значительно больше более эффективных присадок, чем масла группы В₂. Высокая степень легирования масел группы Г₂ позволяет применять их в более жестких условиях, где необходима высокая термическая стабильность, лучшие антиокислительные, моюще-диспергирующие, нейтрализующие и противозносные свойства. Высокооборотные дизели, смазываемые маслами группы Г₂, эксплуатируют на дистиллятных топливах с содержанием серы до 0,5 % (мас. доля), а средне- и малооборотные судовые дизели с большим диаметром цилиндра - до 1,5 % (мас. доля).

Масла **М-8Г₂** и **М-10Г₂** (ГОСТ 8581-78) получают смешением дистиллятного и остаточного компонентов, вырабатываемых из сернистых нефтей, с композицией присадок. Используют соответственно для зимней и летней эксплуатации автотракторных дизелей без надду-

ва или с невысоким наддувом. Масло М-10Г₂ применяют также для смазывания высокооборотных стационарных дизелей и дизель-генераторов.

Масла М-8Г₂к и М-10Г₂к (ГОСТ 8581-78) отличаются от масел М-8Г₂ и М-10Г₂ только существенно более эффективными композициями присадок, что дает возможность увеличивать сроки замены масла, успешно использовать масла М-8Г₂к и М-10Г₂к в современных автомобилях КамАЗ, ЗИЛ, а также автобусах "Икарус".

Масло М-14Г₂к (ТУ 38.401-58-98-94) имеет тот же состав, что и масла Г₂к (ГОСТ 8581-78). Предназначено для четырехтактных транспортных дизелей. Можно применять вместо масла М-10Г₂к для летней эксплуатации автотракторных дизелей в регионах с продолжительным и жарким летом.

Масла М-8Г₂у и М-10Г₂у (ТУ 38.401-58-21-91) получают смешением дистиллятного и остаточного компонентов, вырабатываемых из сернистых нефтей, с композицией присадок, отличающейся существенно повышенными и пролонгированными антиокислительными и моюще-диспергирующими свойствами. Предназначены для автотракторных и стационарных дизелей, в которых применяют масла М-8Г₂к и М-10Г₂к. Переход на масла марки Г₂у дает возможность увеличить срок замены масла и элементов фильтров тонкой очистки в 2 раза, сократить расход масла и затраты на техническое обслуживание дизелей, уменьшить вдвое объем отработанных масел, что важно для экологии тех местностей, где нет условий для их утилизации.

В двигателях автомобилей КамАЗ замена масла необходима после пробега 25-30 тыс. км.

Масла М-10Г₂ЦС, М-14Г₂ЦС и М-16Г₂ЦС (ГОСТ 12337-84) состоят из смесей дистиллятного и остаточного компонентов, вырабатываемых из сернистых или малосернистых нефтей, и композиции эффективных присадок. Предназначены для смазывания главных и вспомогательных тронковых дизелей судов морского транспортного, промыслового и речного флота. Масло М-10Г₂ЦС используют также в циркуляционных системах крейцкопфных дизелей высокой степени форсирования, а масло М-16Г₂ЦС - для смазывания цилиндров тронковых и крейцкопфных дизелей с помощью лубрикаторов, когда массовая доля серы в применяемом топливе не более 1,5 %. Масло М-14Г₂ЦС широко применяют в тепловозных дизелях типа ЧН 26/26, стационарных дизель-генераторах с двигателями типа ЧН 40/48, дизель-редукторных агрегатах с двигателями типа ЧН 40/46. Масла марки Г₂ЦС получили допуск к применению у зарубежных дизелестроителей. Масла М-10Г₂ЦС, М-14Г₂ЦС и М-16Г₂ЦС могут использоваться для смазывания ряда судовых механизмов и агрегатов, где необходимы масла соответствующих вязкостей (редукторы, компрессоры, воздухоудки и др.). Отличительная особенность этих масел - очень хорошая влагостойкость, малая эмульгируемость с водой и легкое отделение воды при сепарации.

Масло М-14Г₂ (ГОСТ 12337-84) состоит из смеси дистиллятного и остаточного компонентов, вырабатываемых из сернистых нефтей, и композиции присадок с особо высокими моющими свойствами. Предназначено для смазывания тепловозных дизелей типа ЧН 26/26 при работе на топливе с массовой долей серы до 0,5 %.

Масло М-20Г₂ (ГОСТ 12337-84) состоит из остаточного базового масла и композиции присадок, обеспечивающей надежное смазывание в специфических условиях двухтактных дизелей. Предназначено для эксплуатации судовых и стационарных дизелей типа ДН 23/230.

Основные характеристики масел приведены в табл. 4,5 приложения.

Масла группы Д₂

Масла группы Д₂ вырабатывают на основе базовых компонентов, получаемых из сернистых нефтей, или с применением синтетических компонентов. В составах масел группы Д₂ эффективные присадки используют в высоких концентрациях для достижения уровня эксплуатационных свойств, обеспечивающего длительную работоспособность наиболее форсированных двигателей в особо тяжелых эксплуатационных условиях, в частности при применении топлив с повышенным содержанием серы.

Масла М-8ДМ и М-10ДМ (ГОСТ 8581-78) состоят из смесей дистиллятного и остаточного компонентов, вырабатываемых из сернистых нефтей, и новой композиции присадок, улучшающей антикоррозионные и противозносные свойства масел марки ДМ. Предназначены соответственно для зимней и летней эксплуатации высокофорсированных дизелей с турбонаддувом, работающих в тяжелых условиях. Могут использоваться в дизелях без наддува со значительно увеличенным пробегом между заменами масла. Обеспечивают надежное смазывание отечественной и импортной техники (карьерные большегрузные самосвалы, промышленные тракторы большой мощности с двигателями водяного или воздушного охлаждения, экскаваторы, бульдозеры, автопогрузчики, трубоукладчики).

Масло М-14ДМ (ТУ 38.401-58-22-91) отличается от масла М-10ДМ большей вязкостью базового масла, но имеет то же назначение. Предпочтительно применение в местностях с жарким продолжительным летом, а также в двигателях, для смазывания которых необходимо масло класса вязкости 14 (SAE 40).

Масло М-6₃/14ДМ (ТУ 38.401-938-92) состоит из маловязкого базового масла, выработанного из сернистых нефтей и загущенного вязкостной присадкой, и композиции присадок. Это всесезонное масло может применяться круглый год в дизелях с наддувом, эксплуатируемых в тяжелых условиях, вместо двух сезонных масел М-8ДМ и М-10ДМ.

Масло **МТ-5₃/10Д** (ТУ 38.401-58-40-92) готовят путем загущения маловязкого базового масла из сернистых нефтей полимерной вязкостной присадкой и добавления композиции присадок, придающей готовому продукту свойства высокоэффективного дизельного масла, трансмиссионного масла группы ТМ-4 (GL-4 по API) и гидравличе-

ской жидкости для гидросистем промышленных тракторов и сельскохозяйственных машин. Применяют всесезонно в регионах с умеренными климатическими условиями как единое моторно-трансмиссионно-гидравлическое масло, обеспечивающее надежное смазывание дизелей с наддувом, включая двигатели воздушного охлаждения, агрегатов тракторных трансмиссий и гидросистем, управляющих рабочими органами машин. Аналогично импортным маслам, называемым STOU (Super Tractor Oil Universal).

Масло МТ-4₃/8ДС (ТУ 38.401-58-54-92) готовят на основе синтетических базовых компонентов и специальной композиции присадок. Используют как всесезонное единое масло для двигателей, агрегатов трансмиссий и гидросистем промышленных тракторов в климатических условиях Севера. Применяют во всех объектах техники, смазываемых маслом МТ-5₃/10Д при умеренных климатических условиях.

Масло М-14ДР (ТУ 38.401-1063-97) состоит из смеси дистиллятного и остаточного компонентов, вырабатываемых из сернистых нефтей, и композиции присадок, придающих маслу повышенную стойкость к старению. Предназначено для смазывания тепловозных дизелей типа ЧН 26/28 при работе на топливе с содержанием серы до 0,5 %. Обеспечивает значительное увеличение пробега без замены масла и увеличение срока службы элементов фильтров тонкой очистки по сравнению с маслами М-14Г₂ и М-14Г₂ЦС. Аналогично импортным маслам четвертого поколения.

Масло М-16ДР (ГОСТ 12337-84) отличается от масла М-14ДР только несколько большей вязкостью основы. Предназначено для смазывания судовых двух- и четырехтактных дизелей тронкового типа ДН 23/30, ЧН 26/28 и ЧН 30/38 при работе на топливе с массовой долей серы до 0,5 %. Обладает повышенной стойкостью к старению.

Масла М-10ДЦЛ20, М-14ДЦЛ20 и М-14ДЦЛ30 (ГОСТ 12337-84) состоят из смесей дистиллятного и остаточного компонентов, вырабатываемых из сернистых нефтей, и композиций присадок в различной дозировке для получения готового масла с щелочными числами около 20 или 30 мг КОН/г. Предназначены для смазывания среднеоборотных тронковых судовых дизелей с циркуляционной или комбинированной смазочной системой. Масла М-10ДЦЛ20 и М-14ДЦЛ20 используют при работе на тяжелых топливах с массовой долей серы до 2,5-3,0 %, масло М-14ДЦЛ30 - при большем содержании серы. Обладают хорошей влагостойкостью и малой эмульгируемостью с водой, легко отделяют воду при сепарации. Допущены к применению зарубежными дизелестроительными фирмами.

Основные характеристики масел приведены в табл. 6 приложения.

3.5. Особенности синтетических и полусинтетических моторных масел

Синтетические и полусинтетические моторные масла, обладающие по ряду эксплуатационных свойств лучшими, чем нефтяные (минераль-

ные) масла, показателями, находят в настоящее время все большее применение.

Основные показатели нефтяного (минерального) масла и синтетических моторных масел представлены в табл. 10.

К достоинствам синтетических и полусинтетических моторных масел относятся:

- значительно более высокий индекс вязкости, чем у минеральных масел аналогичных и даже лучших марок и сортов;
- лучшая вязкостно-температурная характеристика некоторых синтетических масел в зоне отрицательных температур, а также более низкая температура потери подвижности обеспечивают более легкий пуск двигателей при более низких температурах окружающего воздуха;
- меньшая склонность к образованию низкотемпературных отложений способствует нормальной эксплуатации двигателей в районах Крайнего Севера;
- высокие показатели вязкости при рабочих температурах 250-300°С (в 3-5 раз выше равновязких им минеральных масел при температуре 100°С) обеспечивают гарантированные условия гидродинамической смазки до более высоких температур и термическую стабильность;
- низкая испаряемость и малая склонность к образованию высокотемпературных отложений позволяют использовать эти масла в высокофорсированных теплонагруженных двигателях и при эксплуатации автомобилей в условиях жаркого климата;
- синтетические масла обеспечивают хорошее состояние двигателя, так как характеризуются лучшими противокислительными, диспергирующими свойствами и механической стабильностью, равными или лучшими (в зависимости от синтетической основы) противоизносными и противозадирными характеристиками;
- большой срок службы синтетического масла до замены и меньший расход на угар сокращает его эксплуатационный расход на 30-40 %;
- применение синтетических моторных масел на 4-5 % снижает расход топлива благодаря созданию оптимальных условий трения.

Таблица 10. Основные показатели синтетических и минеральных моторных масел

Наименование показателей	Минеральное масло	Синтетические масла			
		Диэфирные	Полиалкени-гликолевые	Полисили-оксаны	Фторугле-родные
Кинематическая вязкость, при 100 °С	2,5	3,2	3,2	3,5	–
Индекс вязкости	70	140-150	135-180	270	500
Температура застывания, °С	-40...-73	-43...-63	-53...-63	-63...-100	-3...-23
Температура вспышки, °С	149	232	193	315	–
Температурный предел работоспособности, °С	220	220	260...3000	250	400-500
Потери на испарение при 100 °С за 22 ч, %	8	0,1	0,1	0,1	0

Синтетические моторные масла в зависимости от основы бывают диэфирными (при их производстве используются сложные эфиры

двухосновных карболовых кислот), полиалкенгликолевыми, полисилоксановыми, фторуглеродными и хлорфторуглеродными.

Диэфиры, образующиеся при взаимодействии двухосновных кислот с одноатомными спиртами и одноосновных кислот с многоатомными спиртами, применяются при производстве синтетических масел наиболее часто. Каталитические процессы этерификации при получении диэфира путем взаимодействия себациновой кислоты C_8H_{16} , вырабатываемой из касторового масла с изооктиловым спиртом $C_8H_{17}OH$.

Масла, получаемые на основе диэфиров, превосходят минеральные почти по всем важнейшим эксплуатационным свойствам: имеют более высокие индексы вязкости и низкие температуры застывания, меньшие испаряемость и огнеопасность. В то же время диэфирные масла более агрессивны по отношению к деталям из маслостойкой резины, вызывают набухание и размягчение резиновых прокладок, шлангов и др.

Полиалкенгликоли по своей структуре — простые полиэфиры с длинными цепями, получаемые взаимодействием различных гликолей и других спиртов с окисью этилена, окисью пропилена или их смесями. Молекула полигликола может содержать одну или несколько свободных гидроксильных групп, замена которых на алкильную эфирную группу приводит к получению эфиров полигликолей. Различные радикалы, вводимые в молекулу полигликола, влияют на свойства получаемых масел,

Полигликолевые масла, помимо лучших, чем у минеральных, противоизносных свойств, отличаются более пологой вязкостно-температурной характеристикой, более низкой температурой застывания, имеют высокий индекс вязкости, выдерживают высокие рабочие температуры, не провоцируют коррозии металлов, а также, в отличие от эфирных масел, не вызывают набухания и размягчения натуральной и синтетической резины. Широкое применение синтетических масел на полигликолевой основе ограничивается только высокой стоимостью их производства.

Полисилоксаны (силиконы) — полимерные кремнийорганические соединения, находящие все более широкое применение в качестве специальных смазочных масел и жидкостей. В их основе лежит цепочка из чередующихся томов кремния и кислорода. Углеродородные и другие органические радикалы различного строения закрывают боковые цепи атомов кремния. Практическое применение в качестве смазочных масел имеют полимеры с метильными радикалами (метилполисилоксаны) и этильными радикалами (этилполисилоксаны).

Полисилоксаны отличаются низкой температурой застывания, имеют пологую вязкостно-температурную кривую, термостабильны. Эти масла и масла на их основе химически инертны, не вызывают коррозию стали, чугуна, меди, латуни, бронзы, свинца и других металлов даже при нагревании до температуры $150\text{ }^{\circ}C$. Однако у масел этой группы низкая смазывающая способность и противоизносные свойства, которые несколько улучшаются введением присадок. Поэтому полисилоксаны более перспективны в качестве рабочих жидкостей в гидравлических сис-

темах и гидроамортизаторах, а также для изготовления пластичных смазок.

Фторуглеродные масла получают путем замены в углеводородах всех атомов водорода фтором, а хлорфторуглеводородные масла — путем замены атомов водорода частично хлором, а частично фтором.

Фторуглеродные масла обладают хорошими смазочными свойствами. Высокие термическая и химическая стабильность, инертность к кислотам и щелочам, минимальная коррозионная агрессивность позволяют использовать их в узлах трения, работающих при высоких температурах в атмосфере химически активных веществ. Однако низкая температура кипения и высокая температура замерзания при очень крутой вязкостно-температурной кривой исключают их применение в качестве моторных масел.

Хлорфторуглеводородные масла характеризуются более высокой температурой кипения, лучшими вязкостно-температурными свойствами и смазывающей способностью, но несколько худшими термической и химической стабильностью.

Синтетические масла объединяют в себе свойства самых маловязких зимних и вязких летних классов (SAE 5W-50 и SAE 0W-40) и имеют обозначение Fully Synthetic, что переводится как «полностью синтетическое». Стоимость синтетических моторных масел в среднем в 2-3 раза выше минеральных. Тем не менее, применение их целесообразно не только с эксплуатационной точки зрения, но и с экономической, так как они обладают большим сроком службы в двигателях до замены и меньшим расходом на угар.

Полусинтетические моторные масла — это минеральные масла, улучшенные благодаря специальной технологии очистки и содержащие синтетические добавки или 30-40 % синтетической основы. Обозначаются они как Semi-Synthetic. Такие масла обладают лучшими эксплуатационными свойствами и, конечно, дороже минеральных, однако дешевле полностью синтетических.

Переход на хорошо очищенные минеральные, полусинтетические и синтетические масла облегчает пуск двигателя при низких (до -40°C) температурах и экономит 2-5 % топлива за счет снижения потерь на трение в гидродинамическом режиме смазки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник / И. Г. Анисимов [и др.]; под ред. В. М. Школьников. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Техинформ, 1999. – 596 с.
2. Зозуля В. Д. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин / В. Д. Зозуля [и др.]; АН УССР, Ин-т проблем материаловедения; отв. ред. И. М. Федорченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наук. думка, 1990. – 264 с.
3. Глыбин А. И. Автотракторные фильтры: Справочник / А. И. Глыбин. – Л.: Машиностроение, 1980. – 181 с.
4. Венцель С. В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания / С. В. Венцель. – М.: Химия, 1979. – 240 с.
5. Лышко Г. П. Рациональное использование топлива и смазочных материалов для сельскохозяйственной техники / Г. П. Лышко. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1986. – 238 с.
6. Сафонов В. В. Влияние металлсодержащей смазочной композиции на трибологические свойства моторного масла / В. В. Сафонов, Э. К. Добринский // Строительные и дорожные машины. – 2001. – № 4. – С. 20–21.
7. Сафонов В. В. Повышение ресурса тракторных дизелей за счет металлсодержащих добавок к маслу / В. В. Сафонов, Э. К. Добринский // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – № 4. – С. 17–18.
8. Сафонов В. В. Применение наноматериалов при эксплуатации сельскохозяйственных машин / В. В. Сафонов, С. В. Сафонова, А. В. Кирилин, В. А. Александров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003. – № 4. – С. 8–10.
9. Лавров Ю. Г. Минеральные добавки в смазочное масло – путь к самоорганизующимся трибопроцессам / Ю. Г. Лавров // Двигателестроение. – 2003. – № 2. – С. 46–48, 59, 60.

Таблица 1. Характеристики моторных масел для бензиновых двигателей

Показатели	М-6 _з /12Г ₁	М-5 _з /10Г ₁	М-4 _з /6В ₁	М-8В	М-6 _з /10В
Вязкость кинематическая, мм ² /с при температуре:					
100 °С	≥12	10-11	5,5-6,5	7,5-8,5	9,5-10,5
0 °С	-	-	-	≤1200	-
-18 °С	≤10400	Не нормируется	1100-2600	Не нормируется	≤9000
-30 °С	-	-	≤11000	-	-
Индекс вязкости, не менее	115	120	125	93	120
Массовая доля, %, не более:					
механических примесей	0,015	0,015	0,02	0,015	0,02
воды	Следы				
Температура, °С: вспышки в открытом тигле,					
не ниже	210	200	165	207	190
застывания, не выше	-30	-38	-42	-25	-30
Коррозионность на пластинках из свинца, г/м ² , не более	Отсутствие	Не нормируется	5	10	4
Моющие свойства по ПЗВ, баллы, не более	0,5	-	1	-	0,5
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	7,5	5	5,5	4,2	5,5
Зольность сульфатная, %, не более	1,3	0,9	1,3	0,95	1,3
Стабильность по индукционному периоду осадкообразования (ИПО), ч:					
15	-	-	Выдерживает	-	-
20	-	Не нормируется	-	-	-
30	Выдерживает	-	-	Выдерживает	
Цвет, ед. ЦНТ, не более:					
без разбавления	7,5	5	-	-	-
с разбавлением 15:85	-	-	3	3,5	3
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	900	900	880	905	890
Массовая доля активных элементов, %, не менее:					
кальция	0,23	0,2	-	0,16	-
цинка	0,1	0,12	-	0,09	-
фосфора	-	-	-	0,09	-
Вязкость динамическая, мПа·с, не более, при температуре:					
-18 °С	-	2300	-	-	-
-15 °С	4500	-	Не нормируется	-	-

Таблица 2. Характеристики масел групп А и Б₂

Показатели	МС-20П	М-14Б	МТЗ-10П	М-16ПЦ	МТ-16П
Вязкость кинематическая, мм ² /с, при температуре:					
100 °С	20	14+0,5	9,5-10,5	15,5-16,5	15,5-16,5
40 °С	-	-	50	-	-
-30 °С	-	-	15000	-	-
Индекс вязкости, не менее	80	85	125	85	85
Коксуетость масла без присадки, %, не более	0,3	0,4	-	-	-
Кислотное число масла без присадки, мг КОН/г, не более	0,05	0,05	-	-	-
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	0,9	-	3,5	0,9	4
Зольность масла, % (мас. доля):					
без присадки, не более	0,008	0,005	-	-	-
с присадкой	0,24	1	ml,15*	0,25-0,55	0,6-1,0
Массовая доля механических примесей, %, не более:					
Без присадки	Отсутствие	-	-	-	-
с присадкой	0,01	0,015	0,025	0,015	0,015
Температура, °С:					
Вспышки в открытом тигле, не ниже	225 (закрытый тигель)	200	165	230	210
Застывания, не выше	-18	-15	-43	-25	-25
Коррозионность на пластинках из свинца, г/м ² , не более	10	8	5	6	5,0**
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	900	910	900	905	905
Цвет с разбавлением 15:85, ед. ЦНТ, не более	-	7	4	7	7
Массовая доля активных элементов, %, не менее:					
Кальция	0,08***	-	0,2	-	-
Бария	0,14	-	-	-	-
Моющие свойства по ПЗВ, баллы, не более	-	-	-	1	1
Степень чистоты, мг/100 г масла, не более	-	-	-	400	600
Трибологические характеристики при температуре (20+5) °С: показатель износа при постоянной нагрузке 196 Н, мм, не более	-	-	-	0,45	0,45
Массовая доля серы в масле без присадки, %, не более	-	1,1	-	-	-
* Зольность сульфатная по ГОСТ 12417-94. ** Коррозионность по ГОСТ 20502-75, метод А, вар. II. *** Кальций нормируется, барий не определяется при производстве масла МС-20П с присадкой ВНИИ НП-714 или ее импортными аналогами.					
Примечания. 1. Для всех масел массовая доля воды, %, не более - следы. 2. Для масла МС-20П нормируется содержание селективных растворителей в масле без присадки - отсутствие; для масла М-14Б содержание водоразворимых кислот и щелочей - реакция щелочная, содержание фенола в масле без присадки - отсутствие.					

Таблица 3.Характеристики масел группы В2

Показатели	М-8В ₂	М-10В ₂	М-10В ₂ С	М-14В ₂	М-20В ₂ Ф	М-16В ₂	М-14В ₂ 3	М-20В ₂	М-16ИХП-3
Вязкость кинематическая, мм ² /с, при температуре:									
100 °С	8+0,5	11+0,5	11-12	13,5±1	19-22	16+1	13-15	18-22	15,5-16,5
40 °С, не менее	-	-	-	-	-	-	-	-	160
0 °С, не более	1200	-	-	-	-	-	3000	-	-
Индекс вязкости, не менее	85	85	83	85	90	85	100	90	90
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	3,5	3,5	4	4,8	2,8	3,5	6	3,5	4,0**
Зольность сульфатная, % (мас. доля), не более	1,3	1,3	1	1,2	0,65	0,6*	1,3	1,3	1,25**
Массовая доля механических примесей, %, не более	0,015	0,015	0,01	0,02	0,01	0,025	0,015	0,015	0,013
Температура, °С:									
вспышки в открытом тигле, не ниже	200	205	210	210	230	200	220	235	225
застывания, не выше	-25	-15	-15	-12	-15	-15	-30	-15	-25
Коррозионность на пластинках из свинца, г/м ² , не более	10	10	Отсутствие		10	5	Отсутствие		9
Моющие свойства по ПЗВ, баллы, не более	1	1	-	-	-	-	-	-	0,5
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	905	905	900	910	905	-	905	910	905
Термоокислительная стабильность при 250 °С, мин, не менее	50	80	-	-	-	60	55	80	100
Стабильность по индукционному периоду осадкообразования (ИПО), выдерживает, ч	30	30	40	50	50	-	-	-	45
Цвет, ед. ЦНТ, не более:									
с разбавлением 15:85	4,5	4,5	3,5	4	3,5	-	-	-	6
без разбавления	-	-	-	-	-	6	7,5	7,5	-
Массовая доля активных элементов, %, не менее:									
Кальция	0,08	0,08	0,19	0,15***	0,08	-	0,16	0,08	-
бария	0,18	0,18	-	0,13***	0,07	-	-	0,25	0,6
цинка	0,05	0,05	0,05	0,045	-	-	0,09	0,05	-
Фосфора	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	-	-	-	-
Степень чистоты, мг/100 г масла, не более	500	500	-	600	400	-	-	200	320
Моющий потенциал, %, не менее	-	-	-	-	-	-	35Ф	-	80Ф
* Зольность оксидная по ГОСТ 1461-75									
** С новой композицией присадок щелочное число не менее 3,8 мг КОН/г и зольность не более 1,4 % (мас. доля).									
*** При производстве масла М-14В ₂ с присадкой ВНИИ НП-714 или ее импортными аналогами массовая доля кальция не менее 0,23%, а массовая доля бария не нормируется и не определяется.									
Примечание. Для всех масел массовая доля воды, %, не более - следы.									

Таблица 4. Характеристики масел группы Г2 для автотракторных и транспортных дизелей

Показатели	М-8Г ₂	М-10Г ₂	М-8Г ₂ к	М-10Г ₂ к	М-14Г ₂ к	М-8Г ² У	М-10Г ₂ У
Вязкость кинематическая, мм ² /с. при температуре:							
100 °С	8,0+0,5	11,0+0,5	8,0+0,5	11,0+0,5	14,0-15,0	8,0-9,0	11,0-12,0
0 °С, не более	1200	-	1200	-	-	-	-
-12 °С, не более	-	-	-	-	-	4000	-
Индекс вязкости, не менее	85	85	95	95	90	95	90
Температура, °С:							
Вспышки в открытом тигле, не ниже	200	205	210	220	215	210	225
Застывания, не выше	-25	-15	-30	-18	-25	-30	-15
Коррозионность на пластинках из свинца, г/м ² , не более	20	20	Отсутствует				
Моющие свойства по ПЗВ, баллы, не более	1	1	0,5	0,5	0,5	-	-
Термоокислительная стабильность при 250 °С, мин, не менее	60	90	65	65	-	-	-
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	6	6	6	6	6	7,5	7,5
Зольность сульфатная, % (мас. Доля), не более	1,65	1,65	1,15	1,15	1,15	1,35	1,35
Стабильность по индукционному периоду осадкообразования (ИПО), выдерживает, ч	35	40	35	50	50	45	55
Цвет с разбавлением 15:85, ед. ЦНТ, не более	4,5	5	3	3	4	4	4
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	905	905	905	900	910	905	905
Массовая доля активных элементов, %, не менее:							
Кальция	0,15	0,15	0,19	0,19	0,19	0,3	0,3
Бария	0,45	0,45	-	-	-	-	-
Цинка	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,1	0,1
Фосфора	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Степень чистоты, мг/100 г, не более	500	500	450	500	-	-	-
Примечание. Для всех масел массовая доля, %, не более: механических примесей - 0,015; воды - следы.							

Таблица 5. Характеристики масел группы Г₂ для судовых, тепловозных и стационарных дизелей

Показатели	М-10Г ₂ ЦС	М-14Г ₂ ЦС	М-16Г ₂ ЦС	М-14Г ₂	М-20Г ₂
1	2	3	4	5	6
Вязкость кинематическая при 100°С, мм ² /с	10,0-11,0	13,5-15,0	15,5-17,0	13,5-14,5	20
Индекс вязкости, не менее	92	92	92	90	85
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	9	9	9	7	9
Зольность сульфатная, % (мас. доля), не более	1,5	1,5	1,5	1,3	1,9
Массовая доля механических примесей, %, не более	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Температура, °С:					
вспышки в открытом тигле, не ниже	210	215	210	220	235
застывания, не выше	-10	-10	-10	-12	-15
Степень чистоты, мг/100 г, не более	600	600	600	600	400
Трибологические характеристики при температуре (20+5) °С:					
индекс задира, кгс	34	34	34	34	37
критическая нагрузка, Н, не менее	823	823	823	823	823
показатель износа при постоянной нагрузке 196 Н, мм, не более	0,4	0,4	0,4	0,45	0,35
Цвет с разбавлением 15:85, ед. ЦНТ, не более	4	4	4	4	6,5
Плотность при 20°С, кг/м ³ , не более	910	910	910	905	907
Массовая доля активных элементов, %, не менее:					
кальция	0,28	0,28	0,28	0,23	0,36
цинка	0,045	0,045	0,045	0,045	0,05
фосфора	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
Вымываемость присадок водой:					
снижение щелочного числа, %, не более	10	10	10	-	-
снижение зольности, %, не более	10	10	10	-	-
эмульгируемость с водой, см ³ , не более	0,3	0,5	0,5	-	-
Примечание. Для всех масел: массовая доля воды - следы; коррозионность на пластинках из свинца - отсутствует; стабильность по индукционному периоду осадкообразования в течение 50 ч - выдерживает.					

Таблица 6. Характеристики масел группы Д₂ для автотракторных дизелей

Показатели	М-8ДМ	М-10ДМ	М-14ДМ	М-6з/14ДМ	МТ-4з/8ДС	МТ-5з/10Д
Вязкость кинематическая, мм ² /с, при температуре:						
100 °С	8,0-8,5	11-1,4	14,0-15,0	14,0-15,5	7,5-8,5	9,5-11,5
-12 °С, не более	4000	-	-	-	-	-
-18 °С, не более	-	-	-	10400	2600	6000
Вязкость динамическая, Па·с, не более, при температуре:						
-25 °С	-	-	-	40	-	-
-40 °С	-	-	-	-	22	-
Индекс вязкости, не менее	102	90	90	120	-	115
Массовая доля, %, не более:						
механических примесей	0,02	0,025	0,02	0,02	0,02	0,015
воды	Следы					
Температура, °С:						
вспышки в открытом тигле, не ниже	195	220	230	210	200	200
застывания, не выше	-30	-18	-15	-30	-55	-40
Коррозионность на пластинках из свинца, г/м ² , не более	Отсутствие		10		10	
Моющие свойства по ПЗВ, баллы, не более	0,5	-	-	-	-	-
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	8,5	8,2	8	9	7	9
Зольность сульфатная, %, не более	1,5	1,5	1,5	1,6	1,65	1,65
Стабильность по индукционному периоду осадкообразования (ИПО), выдерживает, ч	35	60	60	35	25	25
Цвет с разбавлением 15:85, ед. ЦНТ, не более	3,5	3,5	-	-	2,5	-
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	897	905	-	-	-	-
Массовая доля активных элементов, %, не менее:						
кальция	-	0,15	0,35	0,35	0,3	-
цинка	-	0,04	0,07	0,09	0,1	-
фосфора	-	-	-	0,08	0,06	-
Трибологические характеристики при температуре (20+5) °С:						
индекс задира, не менее	-	-	-	-	30	35
критическая нагрузка, Н, не менее	-	-	-	-	784	872
нагрузка сваривания, Н, не менее	-	-	-	-	1646	2195