Содержание

Учебник по смазке – введение в сервис масел

SERWIS OLEJOWY

LOTOS Oil
INDUSTRIAL LUBRICANTS

Учебник по смазке – введение в масляный сервис

Авторы:
Петр Немец,
Рафал Мирек,
Марек Дембиньский,
Славомир Пошеленжный

Ведущий редактор:
Витольд Нець

Редакция и корректура:
Ида Кшеминьская-Альбрыхт,
Лукаш Мацкевич (eKorekta24)

Собственное издательство LOTOS Oil S.A.
Польша, 80-718 Gdańsk, ul. Elbląska 135 | Польша, 80-718, г. Гданьск, ул. Эльблонска, 135
www.lotosoil.pl

Содержание

Введение
1. Трение и смазка ... 4
2. Смазочные материалы ... 7
3. Основные масла ... 8
3.1. Нефть ... 9
3.2. Переработка нефти ... 10
3.3. Производство «минеральных» основных масел ... 13
3.4. Базовые масла I–III групп ... 14
3.5. Базовые масла IV группы (ПАО) ... 15
3.6. Базовые масла V группы ... 15
3.7. Минеральные и синтетические масла ... 17
4. Присадки к смазочным материалам ... 17
5. Классификации индустриальных масел ... 21
5.1. Классификация по вязкости ISO ... 21
5.2. Классификация по качеству ISO ... 22
5.3. Классификация масел для зубчатых передач промышленного оборудования по ISO ... 24
5.4. Классификация гидравлических жидкостей по ISO ... 25
5.5. Классификация индустриальных масел по DIN ... 26
6. Гидравлические масла ... 27
6.1. Функции гидравлических масел ... 28
6.2. Основные параметры гидравлических масел ... 28
6.3. Спецификации производителей ... 31
6.4. Уход и надлежащие условия работы ... 32
7. Трансмиссионные масла ... 32
7.1. Классификация передач ... 33
7.2. Функции трансмиссионных масел ... 33
7.3. Выбор масла для передачи ... 35
7.4. Спецификации OEM трансмиссионных масел ... 35
8. Элементы сервиса масел ... 36
8.1. Методология работы сервиса масел ... 36
8.2. Причины утраты машинами эксплуатационных свойств ... 37
8.3. Профилактика как эффективный метод обеспечения бесперебойной работы машин ... 38
8.4. Профилактика в рамках сервиса масел ... 39
9. Анализ масел ... 39
9.1. Лабораторные и собственные исследования Отдела Сервиса Масел ... 40
9.2. Измерения в полевых условиях ... 43
10. Продукты LOTOS Oil для промышленности ... 44
Transmil Synthetic ... 44
Transmil Extra XSP ... 44
Hydromil Super L-HV ... 45
Hydromil L-HM ... 46
Hydromil Super HLPD ... 46
11. Заключение ... 47
12. Об авторах ... 48
13. Библиография ... 50
14. Практическая информация ... 51
15. Заметки ... 56

Введение

Дорогие читатели!

Предлагаем вашему вниманию публикацию, в которой собраны сведения о смазывании, эксплуатации смазочных материалов и сервисе масла. О необходимости создания такого пособия неоднократно упоминалось на разного рода встречах специалистов смазочной отрасли. В профессиональных кругах довольно широко распространено мнение, что отсутствие общедоступной и доходчивой информации на эту тему значительно затрудняет обеспечение бесперебойной работы оборудования.

Современные задачи по техническому обслуживанию производства складываются, в самых общих чертах, как равнодействующая требований к уровню затрат, количеству и качеству. Для их выполнения используются самые разные современные методы – производственные, процессуальные, диагностические, а также организационные. Однако, управляет всем этим современным инструментарием человек, со своими знаниями и опытом.

Наш опыт, приобретенный в течении многих лет сотрудничества с промышленностью, показывает, что доступность информации о смазочных материалах и их применении отличается некоторой неравномерностью. На одном полюсе находятся обширные справочные и академические издания, а на другом – публикации производителей смазочных материалов и оборудования, содержание которых сводится, в основном, к каталогам продукции. Из практики нам известно, что разъяснения требуют простые, но при этом важные вопросы, от понимания которых, в данной ситуации, могут зависеть уровень затрат, количественные и качественные показатели. Не будем питать иллюзий – смазка была и будет областью, которую специалисты по техобслуживанию осваивают во вторую очередь, после других необходимых им знаний и умений.

Предлагаемая вашему вниманию публикация содержит самые основные сведения и призвана помочь решать проблемы самостоятельно или с привлечением нашего специалиста. Она, в значительной мере, восполняет пробел в уже изданной на эту тему литературе. Авторы старались уделить больше внимания вопросам, чаще всего поднимаемым пользователями при обращении в масляный сервис LOTOS Oil. С точки зрения современного подхода к вопросам обеспечения бесперебойной работы оборудования одним из основных инструментов в этой области правильно запрограммированный масляный сервис.

Наша публикация предназначена для пользователей, которые по тем или иным причинам не хотят обращаться к академическим учебникам или пространным инженерным справочникам. Мы будем благодарны за любые отзывы и замечания.

Яцек Неска
председатель правления, генеральный директор LOTOS Oil S.A.

Славомир Пошеленжный
начальник бюро развития LOTOS Oil S.A.

1. Трение и смазка

Трение – это комплекс явлений, наблюдающихся в зоне соприкосновения двух перемещающихся относительно друг друга тел. В результате этих явлений возникает сопротивление движению. Кинетическое трение – это трение, возникающее при относительном перемещении двух тел. По виду движения кинетическое трение делится на трение скольжения и трение качения.

Трение, возникающее в зоне контакта перемещающихся относительно друг друга элементов машин, называется внешним трением. Трение, возникающее при относительном перемещении составных элементов одного и того же тела (например, отдельных молекул смазочного масла), называется внутренним трением.

По другим критериям различают сухое, граничное и жидкостное трение. Внешнее трение, возникающее между поверхностями трения, называется сухим трением. Физически сухое (ювенильное) трение возникает при контакте чистых поверхностей твердых тел. Технически сухое трение возникает при контакте поверхностей твердых тел, покрытых пленками окисей металлов, образующимися в результате взаимодействия металлов с воздухом.
Внутреннее трение смазочного масла называется жидкостным трением. Трение, возникающее при взаимном движении двух поверхностей, покрытых очень тонким слоем (граничным слоем, граничной пленкой) смазочного масла, носит название граничного трения.
При эксплуатации оборудования периодически возникает смешанное трение, когда одновременно имеет место жидкостное и граничное трение. Появлению смешанного трения способствуют высокие нагрузки, низкая относительная скорость и нестационарный режим работы узла трения.

Сопротивление трения выражается силой трения T:

$$T = \mu \times N$$

где μ – коэффициент трения; N – нагрузка.

Смазывание заключается в заполнении зоны трения смазочным материалом, благодаря чему сухое трение сменяется жидкостным. Толщина и характер смазочного слоя определяют вид смазки.

Граничная смазка: толщина смазочного слоя мала по сравнению с шероховатостью поверхностей. Сопротивление трения при этом виде смазки зависит только от вида поверхностей и смазочных свойств масла. Жидкостная смазка: толщина смазочного слоя многократно превышает толщину граничного слоя и суммарную шероховатость обеих поверхностей. Это приводит к их полному разделению, требующему возникновения в смазочном зазоре давления, уравновешивающего внешнюю нагрузку. Для возникновения такого давления должны выполняться следующие условия:

- разница относительных скоростей трущихся поверхностей в узле трения должна быть достаточно велика,
- смазочный материал должен обладать соответствующей вязкостью,
- должны быть условия для образования масляного клина,
- должна присутствовать перпендикулярная к поверхности скольжения нагрузка, не превышающая гидродинамическую несущую способность смазочного материала.

По способу возникновения давления в смазочном зазоре жидкостная смазка может быть гидродинамической или гидростатической.

При гидродинамической смазке давление в смазочном зазоре возникает вследствие относительного движения трущихся поверхностей и вязкости смазочного материала, причем, чем больше вязкость смазочного масла и выше относительные скорости поверхностей, тем выше давление.

Разновидностью гидродинамической смазки является эласто-гидродинамическая смазка, при которой разделение трущихся поверхностей происходит вследствие увеличения вязкости смазочного материала и упругих деформаций поверхностей, вызванных высоким давлением в узле трения.

При гидростатической смазке давление в смазочном зазоре создается при помощи внешнего, по отношению к системе, насоса.

Помимо собственно смазывания смазочные материалы выполняют также функции защиты от коррозии, уплотнения, охлаждения и содержания в чистоте узлов трения [1–3].

2. Смазочные материалы

Смазочные материалы делятся на жидкие (смазочные масла) и полужидкие (пластичные смазки).

Чтобы удовлетворить требования производителей машин к качеству смазочных материалов, в их состав включается, как правило, несколько видов основных масел и до 30% химических соединений, называемых присадками. В свою очередь, полужидкая консистенция смазок достигается за счет дополнительного включения в их состав химических соединений, называемых загустителями.

Смесь нескольких основных масел называется базовым маслом. Базовые масла могут состоять из основных масел одного типа или являться смесью основных масел, принадлежащих к разным группам. По типу основных масел различают: минеральные, полусинтетические и синтетические базовые масла.

Присадки, улучшающие качество базового масла, можно разделить на следующие группы:

- повышающие вязкость и индекс вязкости – модификаторы вязкости,
- понижающие температуру текучести – депрессоры,
- ингибиторы коррозии и ржавления,
- детергенты и диспергенты,
- эмульгаторы,
- противопенные присадки,
- ингибиторы окисления масляной основы,
- дезактиваторы металлов,
- противоизносные (AW) и противозадирные (EP) присадки,
- модификаторы трения (FM).

В зависимости от назначения смазочного материала в его состав могут входить только некоторые присадки из приведенного списка.

В качестве загустителей для пластичных смазок чаще всего используются мыла (кальциевые, литиевые, алюминиевые и натриевые). Другими популярными загустителями являются бентониты, силиконы, полиуретаны, полиэтилены, полиизобутилены и производные мочевины. Выбор загустителя определяет консистенцию и оказывает большое влияние на ряд качественных признаков смазки, таких как водостойкость и диапазон рабочих температур.

С точки зрения физико-химических параметров и эксплуатационных свойств оба типа смазочных материалов обладают характерными преимуществами, обуславливающими их применение.

По сравнению с маслами смазки обладают рядом эксплуатационных преимуществ:

- ограничивают износ смазываемых элементов благодаря наличию смазок в узлах трения даже тогда, когда устройство не работает, что предотвращает возникновение сухого трения,
- меньше подвержены вытеканию из негерметичных узлов трения,
- слои смазки, находящиеся в контакте с уплотнениями, сами работают как уплотнители, предотвращая попадание воды и пыли как в глубокие слои смазочного материала, так и в узел трения,
- существует возможность улучшения качества смазок путем введения твердых присадок (графит, двусернистый молибден), которые при включении их в состав масел осаждаются на фильтрах.

В свою очередь, к эксплуатационным преимуществам масел перед смазками относятся:

- лучше отводят тепло,
- обеспечивают меньшие потери энергии (меньший коэффициент трения),
- обладают способностью непрерывного переноса загрязнений из узла трения в масляные фильтры,
- можно с гораздо большей точностью контролировать потери смазочного масла в условиях эксплуатации,
- замена масла (по сравнению с заменой смазки) выполняется гораздо быстрее и проще,
- легче отобрать для анализа репрезентативную пробу работающего масла.

Вследствие развития технологии технического обслуживания спрос на смазочные масла в настоящее время значительно превосходит спрос на пластичные смазки. Доля смазок в общем производстве смазочных материалов не превышает 5%. Смазки применяются практически только тогда, когда невозможно использование смазочных масел, а именно для смазывания:

- подшипников скольжения и качения,
- не уплотненных передач,
- шарниров,
- направляющих [4–6].

3. Базовые масла

3.1. Нефть

Нефть является жидким ископаемым сырьем, используемым для производства горюче-смазочных материалов и другой нефтехимической продукции. Обычно это маслянистая жидкость, имеющая цвет от янтарного до темно-зеленого или почти черного. Это углеводородное сырье, образующееся из мертвой органической материи в результате сложных биохимических, химических и геологических реакций.

Накопление в осадочных породах органической материи происходило преимущественно на шельфах, в лагунных бассейнах и морских заливах в геологические периоды, характеризующиеся бурным развитием биологической жизни. Около 15% запасов нефти датируются палеозойской эрой (600-220 млн лет назад), однако почти половина запасов геологически значительно моложе, так как образовалась в период от 180 до 1 млн лет назад. В зависимости от вида нефти в ее состав входят соединения, состоящие из пяти основных элементов (содержащихся, в зависимости от месторождения, в различных количествах): углерода (80–88%), водорода (10–14%), серы (0,01–7,4%), азота (0,02–1,1%) и кислорода (0,04–1,8%). В состав нефти могут входить также другие элементы, однако их количество не превышает в общей сложности 0,01-0,3%. Перечисленные элементы входят в состав химических соединений, которые можно отнести к следующим группам: углеводороды, органические соединения, содержащие иные, чем углерод и водород, элементы и

неорганические соединения. Основную группу составляют углеводороды (соединения, состоящие исключительно из атомов углерода и водорода), которые, в свою очередь, можно поделить на алифатические (так называемые парафиновые углеводороды), с линейными и разветвленными цепями, углеводороды нафтенового ряда (содержащие циклические структуры – замкнутые углеводородные цепи) и ароматические углеводороды (содержащие замкнутые цепи, в которых атомы углерода образуют делокализованные связи, не встречающиеся у нафтеновых углеводородов). Чтобы определить содержание отдельных групп соединений, необходим точный химический анализ. Единственной предпосылкой, позволяющей ориентировочно определить углеводородный состав нефти, является ее возраст: нефть более молодого геологического возраста (расположенная в верхних пластах месторождения) характеризуется большим содержанием аренов, в то время как нефть более старого возраста содержит больше насыщенных углеводородов (имеет более парафиновый характер).

Нефть, добываемая из разных месторождений, отличается по своему составу и физико-химическим свойствам, различен также состав нефти из разных пластов одного месторождения. Ввиду некоторых различий в технологических схемах нефтеперерабатывающих заводов, обусловленных видом и количеством конечной продукции (топливо, различные масляные основы, другая нефтяная и нефтехимическая продукция), не каждая нефть одинаково подходит для конкретных целей. Таким образом, попытка классификации нефти вызвана желанием ориентировочно показать возможности ее замены либо сочетания с другими сортами нефти, а в более широкой перспективе – определить экономическую пригодность для применения на конкретном нефтеперерабатывающем заводе.

Для полного и тщательного сравнения нефти из разных месторождений необходимо определить следующие физико-химические параметры: плотность, содержание серы, содержание хлоридов, содержание воды и твердых загрязнений, содержание микроэлементов, вязкость, температура текучести, давление паров, кислотное число, остаток после коксования, содержание асфальтенов, содержание парафина, содержание азота и фракционный состав.

Исторические классификации нефти учитывали только некоторые факторы из приведенного списка физико-химических параметров, химический состав либо пригодность для определенных целей.

По плотности (обозначаемой буквой d) нефть разделяли на три класса:

- легкую нефть ($d < 0{,}878$ г/см^3)
- среднюю нефть ($0{,}884 > d > 0{,}878$ г/см^3)
- тяжелую нефть ($d > 0{,}884$ г/см^3)

Согласно химической классификации нефти, выделяют:

- парафиновые,
- парафино-нафтеновые,
- парафино-нафтено-ароматические,
- нафтено-ароматические.

Геологическая классификация делила нефть согласно индекса зрелости, определяемого по содержанию линейных углеводородов определенной структуры.

Наконец, технологическая классификация делила нефти на три класса в зависимости от содержания серы:

- малосернистые – менее 0,5% S,
- сернистые – от 2,0 до 0,5% S,
- высокосернистые – более 2% S.

Приведенные сведения в общих чертах демонстрируют разнородность систем классификации, которые сегодня представляют уже только исторический интерес, но, тем не менее, часто появляются в текстах популярного характера (например, в ежедневной прессе) на темы, связанные с нефтью.

Благодаря развитию гидропроцессов в технологии деструктивной переработки нефти сегодня практически из любого сорта нефти можно получить один и тот же тип продуктов одинакового качества.

На протяжении последних лет основным типом нефти, перерабатываемой в Польше, является уральская нефть среднего качества (смесь нескольких сортов, добываемых на разных нефтяных полях России), асфальтового типа, характеризующаяся содержанием серы порядка 1,5% м/м, высокой плотностью и большим содержанием металлов и азота. В этой нефти содержание топливных фракций составляет около 50% м/м. Похожими на уральскую нефть характеристиками обладает также легкая иранская нефть. Третьим главным типом нефти, перерабатываемым в Польше, является нефть, импортируемая с Северного моря, с содержанием серы около 0,09–0,3%, выходом топливных фракций порядка 60-70% и низким содержанием тяжелых металлов. Альтернативой для инфраструктуры трубопроводов является «Нафтопорт», позволяющий доставлять нефть из любой точки мира [1, 4, 6, 7].

3.2. Переработка нефти

Сырая нефть не находит сегодня практического применения. Для получения готовых товарных продуктов с соблюдением необходимых количественных пропорций сырая нефть должна быть подвергнута ряду физических процессов, а зачастую также химическим превращениям.

Подготовка нефти к собственно переработке заключается в удалении из нее воды (до содержания 0,1–0,3%) вместе с растворенными в ней солями (в основном NaCl, KCl, $MgCl_2$). Этот процесс осуществляется на одной установке, предназначенной и для обессоливания, и для обезвоживания. Суть процесса заключается в том, что предварительно подогретая и смешанная с деэмульгатором нефть подвергается действию высокого напряжения в электродегидраторе.

Основным процессом нефтепереработки является фракционная дистилляция (перегонка), в результате которой получают фракции – группы углеводородных соединений с похожей температурой кипения. Температура разложения содержащихся в нефти химических соединений составляет примерно 420°C, поэтому чтобы отделить соединения, закипающие при более высоких температурах, необходимо проводить дистилляцию в два этапа. Первый этап – это дистилляция при атмосферном давлении (около 760 мм рт. ст.), а второй – это дистилляция при пониженном давлении (около 60-70 мм рт. ст.). Основными аппаратами, применяемыми для дистилляции, являются трубчатые печи и ректификационные колонны.

Нефть, очищенная от воды и минеральных солей, поступает в теплообменник, в котором нагревается до температуры 200°C, а затем подается в стабилизационную колонну. Здесь происходит так называемая стабилизация нефти, заключающаяся в отделении газов и выпаривании наиболее тяжелой части бензина. В этой же колонне отделяется большая часть корродирующих компонентов (таких как H_2S и HCl). Таким образом, суть работы колонны стабилизации – уменьшение нагрузки на главную дистилляционную колонну и предохранение ее от коррозии. Остаток колонны стабилизации нагревается в трубчатой печи, под давлением 2 МПа, до температуры около 350°C, и через редукционный клапан подается в атмосферную колонну, где в результате однократного испарения происходит разделение на паровую фазу, ректификация которой протекает в верхней части колонны,

и жидкую фазу, из которой в нижней части колонны с помощью водяного пара отгоняются более легкие компоненты. Остаток атмосферной колонны (мазут) нагревается в трубчатой печи примерно до 420°C и подается в вакуумную колонну, в которой перегоняется на масляные фракции (легкую, среднюю, тяжелую) и остаток, называемый гудроном.

В результате такой перегонки в атмосферной колонне получают газы (от метана до бутана), бензиновую фракцию (с диапазоном температур кипения 40–200°C), керосин (200–250°C) и газойль (250–350°C). В вакуумной же колонне получают масляные дистилляты: легкий (220–250°C), средний (250–300°C) и тяжелый (300–380°C), а также остаток в виде гудрона. Гудрон, в свою очередь, является сырьем, из которого, путем деасфальтизации жидким пропаном, получают деасфальтизат – фракцию основного масла высокой вязкости (около 30 сСт при 100°C, в то время как максимальная вязкость масляных дистиллятов составляет 13 сСт), служащую для получения т.н. брайтстока (bright stock) и нефтяного битума.

По необходимости схема может быть расширена за счет добавления дополнительных элементов, например дополнительной вакуумной колонны, чтобы улучшить разделение масляных фракций. В результате перегонки нефти можно получить до 15% бензинов, до 20% керосина, до 20% газойля и до 50% мазута. Из мазута можно получить приблизительно от 50 до 65% масляных фракций, а из оставшегося гудрона – до 30% деасфальтизата. Пример среднего процентного выхода отдельных фракций, полученного в 2006 году на перегонной установке Гданьского нефтеперерабатывающего завода, представлен в таблице 1.

Таблица 1. Выход нефтепродуктов [м/м] Vacuum residue

Сухие газы	0,32%
Сжиженные газы	1,48%
Легкий бензин	5,15%
Тяжелый бензин	11,99%
Керосин	7,85%
Легкий газойль (ЛГ)	4,86%
Средний газойль (СГ)	13,73%
Тяжелый газойль (ТГ)	6,05%
Вакуумный газойль (ВГ)	8,05%
Масляная фракция A	1,33%
Масляная фракция B	5,36%
Масляная фракция C	9,72%
Масляная фракция D	2,47%
Некондиционная фракция	1,94%
Вакуумный остаток	19,54%

Получаемые таким образом фракции не являются готовыми товарными продуктами и требуют облагораживания, то есть улучшения определенных свойств, что достигается на дальнейших этапах процесса переработки.

Для удовлетворения существующего спроса на нефтепродукты необходимо увеличивать выход из нефти топлив и сырья для химической промышленности (этилена, пропилена, толуола, ксилолов и др.). Для этого можно подвергать полученные путем перегонки продукты т.н. деструктивным процессам для получения большего количества некоторых продуктов (фракций) или углеводородов, не содержащихся в сырой нефти, на которые в настоящий момент на рынке существует наибольший спрос. Процессы деструктивной переработки нефти можно поделить на термические (термический крекинг, висбрекинг, коксование, пиролиз) и каталитические (каталитический крекинг, гидрокрекинг, риформинг, гидродеалкилирование, изомеризация, полимеризация и алкилирование).

Чтобы из масляных фракций, получаемых путем вакуумной дистилляции, получить готовые масляные основы, их подвергают процессам рафинирования. Масляные фракции могут также служить сырьем для получения топлив – в этом случае их подвергают каталитическому крекингу или гидрокрекингу.

Каталитический крекинг (от англ. *to crack* – расщеплять) основан на реакции разложения фракций тяжелого газойля, смешанных с вакуумными масляными дистиллятами, при температуре в диапазоне 440–480°C и под давлением 0,2–0,5 МПа в присутствии катализатора. Во время каталитического крекинга проходят, в основном, реакции расщепления связей между атомами углерода, ведущие к образованию парафинов с меньшей молекулярной массой и (в меньших количествах) ненасыщенных углеводородов. Путем каталитического крекинга получают продукты, которые легче сырья, и остаток с температурным диапазоном кипения сырья. В отличие от термического крекинга, в этом случае нельзя получить тяжелые фракции, поскольку продукт вторичных реакций – кокс – осаждается на катализаторе. Основным продуктом каталитического крекинга является бензин с высоким октановым числом, получаемым за счет большого количества ненасыщенных, ароматических соединений и разветвленных углеводородов.

Процесс гидрокрекинга принципиально отличается от процесса каталитического крекинга наличием дополнительной функции, а именно гидрирования полученных в ходе крекинга продуктов, что связано с характером катализатора. В связи с этим в ходе гидрокрекинга не образуется кокс, а все продукты имеют меньшую молекулярную массу, чем сырье. Главным преимуществом этого процесса является возможность переработки любого сырья на более легкие продукты (с меньшей молекулярной массой и более низкой температурой кипения), не содержащие ненасыщенных углеводородов, с низким содержанием серы и азота. Благодаря этому они могут использоваться в качестве готового топлива.

Например, на Гданьском НПЗ гидрокрекингу подвергают материал, содержащий некоторое количество тяжелого и вакуумного газойля, масляных фракций и продуктов других процессов нефтепереработки, а в качестве готового продукта получают, в частности, около 20% бензиновой фракции [6, 8, 9].

3.3. Производство «минеральных» основных масел

Для получения базовых масел из масляных фракций, полученных в результате вакуумной перегонки нефти, их подвергают процессам, призванным привести их физико-химические свойства в соответствие с требованиями, предъявляемыми к базовым маслам. Ряд технологических операций, результатами которых на отдельных этапах являются снижение количества ароматических углеводородов, ликвидация углеводородов с линейными углеродными цепями, ликвидация атомов серы и азота осуществляется в т.н. масляном блоке нефтеперерабатывающего завода.

Отдельные задачи могут выполняться с применением разных технологий, благодаря чему можно получать (с различной производительностью) отличающиеся по качеству готовые базовые масла, а также разные виды побочных продуктов.

В доступной польскоязычной литературе, последнего десятилетия прошлого века, принято было делить схемы производства базовых смазочных масел на традиционные,

модернизированные и, так называемые «водородные» (гидропроцессы). Суть такого деления представлена ниже.

Целью первого процесса масляного блока – рафинации (очистки) – является удаление из масляных дистиллятов (или значительное уменьшение количества) многоядерных ароматических углеводородов, асфальтено-смолистых веществ и соединений с гетероатомами (иных чем углерод и водород элементов). Цель данной операции – увеличение индекса вязкости масляного дистиллята. В традиционных схемах суть процесса сводится к экстракции (вымыванию) нежелательных соединений с помощью соответствующих растворителей, таких как фурфурол, фенол или N-метил-2-пирролидон. На следующей стадии в масляном блоке осуществляется депарафинизация – масляные фракции, очищенные от ароматических соединений, подвергают процессам, направленным на удаление насыщенных линейных углеводородов (парафинов), вызывающих нежелательную потерю текучести базовых масел при высоких температурах. Депарафинизация, по традиционной схеме, заключается в охлаждении дистиллята в присутствии таких растворителей как метилэтилкетон (МЕК) или смесь дихлорэтана и дихлорметана (Di-Me), а затем отфильтровывании выпавших в осадок кристаллов.

Третья и последняя операция в последовательности процессов масляного блока – это завершающая очистка, направленная на улучшение цвета и окислительной стабильности продуктов, в частности, путем дальнейшего удаления соединений серы и азота. В традиционном варианте суть процесса заключается в адсорбции нежелательных соединений на разного рода адсорбентах.

Традиционная последовательность процессов масляного блока не позволяет получать высококачественные базовые масла из некоторых типов нефти. Кроме того, можно лишь в малой степени влиять на производительность, качество и структуру получаемой продукции. Модернизация традиционного цикла процессов сводится к замене традиционных процессов, в той или иной степени, более технологически продвинутыми единичными операциями, основанными на гидропроцессах. В модернизированных схемах традиционное удаление ароматических соединений путем экстракции заменяется гидрокрекингом. Тогда как при очистке растворителями повышение индекса вязкости достигается путем удаления ароматических веществ, характеризующихся низким индексом вязкости, в процессе гидрокрекинга происходит химическая конверсия этих соединений в новые соединения, характеризующиеся высоким индексом вязкости.

Новейшие технологические процессы рафинации основаны на сочетании в одном процессе гидрокрекинга и изомеризации. Как результат, во время процесса проходят типичные реакции гидрокрекинга (распад многоядерных ароматических углеводородов, удаление из молекул гетероатомов, реакции гидрирования) и дополнительно реакция изомеризации, направленная на получение разветвленных углеводородов – изопарафинов. Новейшая концепция депарафинизации, основанная на гидропроцессах, заключается в каталитической изомеризации н-парафиновых углеводородов в нужные изопарафины, индекс вязкости которых значительно выше, а температура текучести значительно ниже, чем у соответствующих н-парафинов. Кроме того, благодаря использованию гидропроцессов при депарафинизации можно эффективнее использовать сырье для получения смазочных масел за счет уменьшения выхода парафинового гача (побочного продукта традиционной депарафинизации).

Основанная на гидропроцессах завершающая очистка называется гидрофинишингом (англ. hydrofinishing). Ее результатом является полное гидрирование ненасыщенных углеводородов и стабилизация готовых продуктов. Таким образом, конечные продукты практически полностью очищены от ненасыщенных и ароматических углеводородов, благодаря чему характеризуются высокой термоокислительной стабильностью и светлым цветом.

Разница технологических концепций масляных блоков влечет за собой различие не только в качестве масляных основ, но и по типу получаемых побочных продуктов. Зависимость качества получаемой основы от выбора технологической концепции выглядит следующим образом: с помощью традиционных процессов можно получить масляные основы I группы, модернизированный цикл позволяет получать основы I и II групп, а наиболее технологически продвинутые гидропроцессы – основы II и III групп. На масляном блоке Гданьского нефтеперерабатывающего завода удаление аренов и депарафинизация осуществляются традиционным способом, а завершающая очистка проходит в виде гидрофинишинга [9, 10, 11].

Таблица 2. Схемы производства базовых смазочных масел

Цель процесса	Повышение индекса вязкости	Понижение температуры текучести	Повышение стойкости к окислению; улучшение цвета
Наименование процесса	Рафинация	Депарафинизация	Завершающая очистка
Суть процесса	Удаление ароматических углеводородов	Удаление линейных парафиновых углеводородов	Удаление ненасыщенных соединений; удаление гетероатомов
Традиционная схема	Очистка растворителями	Депарафинизация растворителями	Адсорбция на адсорбентах
Модернизированная схема	Гидрокрекинг	Каталитическая депарафинизация	Гидрофинишинг
«Водородная» схема	Гидрокрекинг в сочетании с изомеризацией	Каталитическая депарафинизация в сочетании с изомеризацией	Гидрофинишинг высокой жесткости

3.4. Базовые масла I–III групп

В начале 90-х годов прошлого века традиционный способ осуществления процессов масляного блока стал все чаще заменяться схемами, основанными на каталитических гидропроцессах, а в связи с этим базовые масла разных производителей стали все больше отличаться по качеству.

В 1993 году Американский институт нефти (API) ввел систему классификации базовых масел. Введение системы было, по сути, попыткой определения принципов взаимозаменяемости базовых масел при составлении рецептур моторных масел определенного класса и качества. В основу классификации положены три параметра, характеризующие качество базового масла: содержание серы, содержание насыщенных углеводородов (что равносильно степени очистки от ароматических углеводородов), и значение индекса вязкости.

Изначально классификация охватывала только три группы базовых масел. В первую группу (I гр.) входили масла, получаемые традиционным способом, содержащие относительно большое количество серы, с содержанием насыщенных углеводородов не более 90% и

характеризующиеся низкими значениями индекса вязкости. Вторая группа (II гр.) состояла из основных масел, получаемых с применением гидропроцессов, с более высокими значениями индекса вязкости, большим содержанием насыщенных углеводородов и меньшим содержанием серы. В первоначальном варианте классификации к третьей группе (III гр.) причислялись все остальные типы базовых масел.

В 1956 году в классификацию были внесены официальные изменения. Поменялись критерии отбора масел в третью группу – в нее включались исключительно базовые масла, получаемые применением гидропроцессов, с индексом вязкости выше 120. Были созданы две новые группы – четвертая, охватывающая только полиальфаолефины (ПАО), и пятая, в которую были включены все остальные базовые масла (нафтеновые, сложноэфирные, полиалкиленгликолевые и т.д.). Данная классификация действует до сегодняшнего дня, ее основы представлены в таблице 3 [12].

Таблица 3. Классификация основных масел согласно API

Гр.	Содержание серы [%]	Содержание насыщенных углеводородов [%]	Индекс вязкости
I	>0,03 и/или	< 90	80–119
II	≤0,03 и	≥90	80–119
III	≤0,03 и	≥90	≥120
III	ПАО (полиальфаолефины)		
IV	Остальные базовые масла		

3.5. Основные масла IV группы (ПАО)

Полиальфаолефины это группа синтетических углеводородов, наиболее часто используемых при составлении рецептур смазочных материалов. Их получают путем полимеризации олефинов, а затем гидрирования полученных продуктов для получения насыщенных соединений. ПАО являются основными маслами, полностью смешиваемыми с маслами I–III групп. Они могут использоваться при температуре от -60 до +200°С, а ввиду широкого диапазона вязкости (2–1000 сСт) могут служить базовыми маслами для смазочных средств различного назначения. По сравнению с маслами групп I и II, они характеризуются более широким диапазоном рабочих температур, повышенной стойкостью к окислению и старению, более высокими индексами вязкости, большей стойкостью к деформациям сдвига, лучшей текучестью при низких температурах и меньшей испаряемостью. При непосредственном сравнении масел III группы и ПАО, полиальфаолефины проявляют потери текучести при более низких температурах.

3.6. Основные масла V группы

Изначальной причиной возникновения интереса к основным маслам V группы была разработка смазочных материалов особого назначения (например, для работы при экстремально высоких или экстремально низких температурах). Сегодня они применяются очень широко. Затраты на их производство выше издержек производства масел групп I–III, однако масла V группы обладают гораздо лучшими эксплуатационными свойствами, неоднократно позволяющими снизить затраты на эксплуатацию машин, в которых они используются. К этому типу основных масел относятся, в частности, сложноэфирные, полиалкиленгликолевые, растительные и нафтеновые масла.

Сложноэфирные базовые масла получают из карбоновых кислот и спиртов различного строения путем реакции этерификации. В результате этерификации спиртов, содержащих две гидроксильных группы, получают диэфиры, а при этерификации спиртов, чьи молекулы содержат много гидроксильных групп, получают полиэфиры. Сложные эфиры карбоновых кислот полностью смешиваемы с маслами групп I–IV, имеют классы вязкости в диапазоне от 10 до 320 сСт (при 40°С), пригодны для работы при температуре от -60 до +220°С. Основные преимущества, связанные с их применением, это высокая биоразлагаемость, хорошие смазочные свойства и возможность использования в широком температурном диапазоне. Минусом является тенденция к нежелательному воздействию на эластомеры. Некоторые типы сложноэфирных масел, по сравнению с основными маслами других групп, более подвержены гидролитическому разложению в присутствии воды.

Сложные эфиры фосфорной кислоты применяют в основном в качестве гидравлических жидкостей в тех случаях, когда утечка гидравлической жидкости представляет серьезную пожарную опасность.

Полиалкиленгликоли получают путем реакции субстратов, содержащих гидроксильные группы (спирты, диолы, полиолы, карбоновые кислоты) с алкиленовыми окисями.
Полигликоли являются основными маслами с вязкостью в диапазоне 20–1000 сСт, диапазон температур их применения составляет от -30 до +200°С. Их основное преимущество – это прекрасные смазочные качества. В сравнении с маслами групп I–III по своим преимуществам они похожи на сложноэфирные масла. Основным минусом является ограниченная смешиваемость с присадками и маслами других групп. Полигликоли, как и сложные эфиры, вступают в нежелательные реакции с эластомерами.

Базовые масла на основании растительных масел, характеризующиеся высокой биоразлагаемостью, продолжают оставаться многообещающими субститутами других масел, однако их доля в рыночном производстве невелика. Растительные масла по своему химическому характеру являются сложными эфирами карбоновых кислот (чьи молекулы содержат свыше 15 атомов углерода) и многоатомного спирта глицерола (глицерина). Растительные масла имеют тенденцию к нежелательному изменению свойств в результате реакции с кислородом. Их окислительная стабильность уменьшается по мере увеличения в молекуле числа ненасыщенных связей (на их количество указывает йодное число). В то же время меньшее количество ненасыщенных связей в молекуле (более низкое йодное число) приводит к нежелательному росту температуры текучести масла. Рапсовое масло является одним из лучших видов сырья для производства биоразлагаемых масляных основ, поскольку обладает выгодным соотношением низкотемпературных качеств и окислительной стабильности.

В результате процессов окисления возрастает вязкость смазочных материалов и образуются связи кислого характера, способствующие коррозии. По сравнению с другими основными маслами растительные масла обладают самой низкой окислительной стабильностью.

Растительные масла характеризуются относительно низким классом вязкости (ISO VG 32 или 46), что значительно сужает поле их потенциального применения.

Ввиду присутствия сложноэфирных связей, натуральные триглицериды характеризуются низкой гидролитической стабильностью, особенно при температуре выше 60°С.

Кроме способности к быстрому биоразложению, есть еще ряд других физико-химических

свойств, делающих их пригодными для использования в качестве смазочных материалов, в частности, их вязкостно-температурные и смазочные качества. Преимуществом растительных масел с точки зрения их пригодности для использования в качестве смазочных материалов является также то, что они легко смешиваются с другими основными маслами и присадками. Улучшение нежелательных эксплуатационных свойств растительных масел достигается путем их химической модификации.

На практике растительные масла используются для производства масел для цепных пил, в качестве масел гидравлических, формовочных, для двухтактных забортных двигателей, а также как базовые масла при производстве биоразлагаемых смазок. Масла с правильно подобранным составом на основании биоразлагаемых базовых масел работают так же эффективно, как и смазочные материалы на основании базовых масел других групп.

Нафтеновые масла – это тип масел, получаемых из нефти, по классификации API относимые к V группе базовых масел. Их получают из нефти, содержащей менее 55% парафиновых углеводородов (алифатических углеводородов, у которых атомы углерода образуют только простые связи). Следствием такого углеводородного состава является очень низкое значение индекса вязкости нафтеновых масел, однако отсутствие парафиновых углеводородов положительно влияет на снижение температуры текучести. Еще одним существенным плюсом нафтеновых основ является их хорошая способность растворять присадки.

Практическое значение нафтеновых масел сводится к производству электроизоляционных масел, трансмиссионных жидкостей и гидравлических масел, технологических жидкостей и смазок [4, 13–15].

3.7. Минеральные и синтетические масла

Деление основных масел на синтетические и минеральные широко распространено, но неоднозначно. Согласно одному из определений, синтетическими маслами являются только масла, получаемые в результате химического синтеза из простых молекул, однозначно определенного строения. Согласно другому, более широкому определению, это масла получаемые из исходных материалов, путем изменения структуры молекул, и их превращения в результате химических реакций в новые молекулы, отличные от веществ, встречающихся в природной среде, независимо от исходного материала подвергаемого преобразованию.

Стоит отметить, что согласно первому определению синтетическими маслами являются базовые масла IV и V групп, а согласно второму – также базовые масла группы III (и даже II). Таким образом, точное и однозначное описание смазочного материала возможно только путем указания номеров групп по API, к которым можно отнести базовые масла, входящие в его состав.

4. Присадки к смазочным материалам

Входящие в состав смазочных материалов улучшающие добавки (присадки) призваны защищать трущиеся металлические поверхности (например, ингибиторы коррозии и ржавления), а также повышать качество базового масла.

Присадки можно подразделить на: присадки улучшающие свойства базового масла (например, улучшающие индекс вязкости), присадки, придающие новые свойства (например, детергенты и диспергенты), и присадки предотвращающие потерю маслом эксплуатационных

свойств при использовании (например, ингибиторы окисления).

Вязкостные присадки (модификаторы вязкости)

Увеличивают вязкость масла и улучшают его вязкостно-температурные свойства (индекс вязкости). Добавленные к маслу, они увеличиваются в объеме при высоких температурах (набухают) и таким образом препятствуют уменьшению вязкости масла с повышением температуры. Следствием стабилизации вязкости в широком температурном интервале является рост индекса вязкости. В качестве модификаторов вязкости используются полимеры (полиалкилметакрилаты, полиизобутилены, полидиены, сополимеры диенстирольные, сополимеры этиленпропиленовые) с высокими молекулярными массами.

Подобные присадки входят в состав всесезонных моторных, трансмиссионных и гидравлических масел.

Депрессоры

Низкомолекулярные полимеры (полиметакрилаты и полиакрилаты) применяются в качестве присадок, понижающих температуру потери текучести смазочных масел (депрессоров). Введенные в масло депрессорные присадки предотвращают образование кристаллической сетки присутствующих в масле насыщенных углеводородов, что приводит к сохранению его текучести при низких температурах.

Депрессоры входят в состав моторных, трансмиссионных, гидравлических и других масел, предназначенных для работы при низких температурах.

Детергенты и диспергенты

Наибольшую группу присадок, придающих маслу новые свойства, составляют детергенты и диспергенты (моющие и диспергирующие присадки). Они удерживают осадок и продукты износа элементов трения в масле при диспергированном состоянии. В результате добавления этих присадок в состав смазочного материала при его эксплуатации достигается эффект «чистый двигатель – грязное масло». В качестве детергентов используются сульфонаты и феноляты кальция или магния. Диспергенты являются имидопроизводными янтарной кислоты.

Присадки этого типа входят в состав моторных и специальных индустриальных масел.

Противопенные присадки

Присутствие в масле детергентов и диспергентов может приводить к излишнему вспениванию масла, что негативно влияет на качество смазки. Это приводит к необходимости использования противопенных присадок, задача которых – уменьшение поверхностного натяжения между воздушными пузырьками и маслом, благодаря чему пузырьки быстро лопаются. В качестве противопенных присадок используют, в основном, силиконовые полимеры. Противопенные присадки – это единственный тип присадок, присутствующих в масле в диспергированном состоянии.

Антиоксиданты

Главной функцией ингибиторов окисления (антиокислительных присадок,

антиоксидантов) является ограничение нежелательного процесса окисления работающего масла под воздействием атмосферного кислорода. Окислению способствуют высокие температуры и возможное каталитическое действие металлической поверхности трения.
Действие антиокислительных присадок основано на разложении сильных окислителей (гидроперекисей и перекисных радикалов) на неактивные соединения в ходе реакции обрыва кинетической цепи. По механизму действия ингибиторы окисления можно разделить на три группы: присадки, разрывающие кинетическую цепь процессов, происходящих при окислении, присадки, разлагающие образовавшиеся в результате превращений пероксиды, и деактиваторы металлов.

К первой группе относятся соединения, являющиеся производными ароматических аминов и фенолов, ко второй – сульфиды, фосфорсодержащие соединения (например диалкилдитиофосфат цинка) и дитиокарбаматы. Антиоксиданты это наиболее дорогостоящая группа присадок, их присутствие влияет на продление времени эксплуатации смазочного материала, поэтому они входят в состав всех масел повышенного качества.

Дезактиваторы металлов

Окисление углеводородов катализируют ионы металлов (особенно активны Cu и Co), механизм окисления состоит в разложении гидроперекисей на активные свободные радикалы (перекисные радикалы и углеводородные алкокси-радикалы), что ускоряет разветвление цепи окислительных превращений и расход ингибиторов окисления. Дезактиваторы металлов (некоторые соединения серы, диамины) – это присадки, обладающие способностью образовывать комплексные связи с металлами, и таким образом нейтрализовать их каталитические свойства.

Ингибиторы коррозии и ржавления

Ингибиторы коррозии и ржавления (антикоррозионные и противоржавейные присадки) защищают металлические поверхности, находящиеся в контакте с металлом, от коррозионного действия кислых продуктов – загрязнений смазочного масла. Предотвращение коррозионных изменений достигается путем образования на их поверхности защитных пленок (вследствие адсорбции и хемосорбции). Ингибиторы коррозии – это соединения, в структуре которых присутствует полярная функциональная группа и длинная углеродная цепь (органические кислоты, сложные эфиры, амины). В настоящее время ингибиторы коррозии и ржавления входят в состав всех масел повышенного качества.

Маслянистые присадки

Маслянистые присадки применяются для минимизации износа трущихся поверхностей и предотвращения их заедания. Это достигается путем введения в базовое масло веществ, обладающих, как правило, способностью к физической адсорбции или хемосорбции на поверхностях трения во время работы смазочного материала. В дальнейшем эти соединения могут вступать в реакции с металлической поверхностью трения или создавать слой защитной пленки, которая образуется в результате реакции на поверхностях трения.

В качестве маслянистых присадок используются соединения, содержащие атомы серы, хлора, фосфора или кислорода, причем, ввиду вредного влияния хлора на природную среду, эта группа присадок постепенно утрачивает промышленное значение.

К соединениям серы, находящим практическое применение в качестве маслянистых присадок, относятся индивидуальные сернистые соединения (сульфиды и дисульфиды, ксантогенаты, тиокарбонаты и дитиокарбаматы), сульфитированные смеси или масла, образованные путем растворения элементарной серы в горячем масле (сульфитированное рапсовое, пальмовое масла). Наиболее универсальными присадками являются серофосфорные соединения, которые в большинстве случаев являются производными тиокислот фосфора (V). По функциям маслянистые присадки обычно подразделяют на:

- противозадирные (EP),
- противоизносные (AW),
- модификаторы трения (FM).

Назначение противозадирных присадок – предотвращение схватывания элементов трения, которое может наступить в момент появления экстремально больших нагрузок. В качестве EP-присадок могут использоваться органические серосодержащие соединения, серо- и хлорсодержащие соединения, серо- и фосфорсодержащие соединения.

Вторую группу маслянистых присадок составляют противоизносные присадки (AW). Их задача – уменьшение изнашивания поверхностей трения при умеренных нагрузках, когда пенетрация слоя смазочного материала невелика. К наиболее популярным противоизносным присадкам относятся дитиофосфаты металлов.

Третью группу маслянистых присадок составляют модификаторы трения (FM). Они уменьшают трение за счет увеличения толщины масляного слоя путем физической адсорбции на металле или действия макромолекул присадки. Эти присадки наиболее эффективны, когда их концентрация значительна при не очень больших нагрузках на узел трения.
Не все из представленных типов присадок входят в состав каждого типа смазочного масла. При составлении рецептуры масла в его состав включаются только те присадки, которые усиливают нужные функции данного смазочного масла [1, 2, 4, 15].

5. Классификации индустриальных масел

Индустриальные масла классифицируют при помощи систем классификации ISO (иногда также встречается классификации согласно DIN). Различают классификацию по вязкости ISO 3448 и классификацию по качеству ISO 6743-99:2002.

5.1. Классификация по вязкости ISO

Система классификации вязкости индустриальных масел ISO 3448 основывается на величине кинематической вязкости, определяемой при температуре 40°C и различает 20 классов вязкости (таблица 4).

Таблица 4. Система классификации вязкости индустриальных масел по ISO 3448

Класс вязкости по ISO 3448	Допустимый диапазон кинематической вязкости при 40°C для масел данного класса [cСт]
2	1,98-2,42
3	2,88-3,52
5	4,14-5,06
7	6,12-7,48
10	9,00-11,0
15	13,5-16,5
22	19,8-24,2
32	28,8-35,2
46	41,4-50,6
68	61,2-74,8
100	90-110
150	135-165
220	198-242
320	288-352
460	414-506
680	612-748
1000	900-1100
1500	1350-1650
2200	1980-2420
3200	2880-3520

Согласно данной классификации, класс вязкости означает величину кинематической вязкости (указанную в cСт или мм^2/с), определенную при температуре 40°C , которая составляет ±10% по отношению к числу, обозначающему класс [16–22].

5.2. Классификация по качеству ISO

По ISO 8681:1986 нефтепродукты можно разделить на следующие классы:

- топлива (F – fuels),
- растворители и сырье для химической промышленности (S – solvents),
- смазочные материалы, индустриальные масла и родственные продукты (L – lubricants),
- парафины (W – waxes),
- битумы (B – bitumen).

Классификация индустриальных смазочных материалов по качеству ISO 6743-99:2002 является дальнейшей детализацией классификации нефтепродуктов по ISO 8681:1986. Класс L (Lubricants) делится по данной классификации на 18 групп продуктов в соответствии с областью их применения (таблица 5).

Таблица 5. Система классификации по качеству ISO 6743-99:2002

Group	Application	Specific ISO standard detailing the types
A	Открытые системы смазки	ISO 6743-1:2002
B	Смазывание литейных форм	отсутствует
C	Зубчатые передачи промышленного оборудования	ISO 6743-6:1990
D	Компрессоры	ISO 6743-3:2003
E	Промышленные двигатели внутреннего сгорания	ISO 6743-15:2000
F	Шпиндели, подшипники и сопряженные с ними соединения	ISO 6743-2:1981
G	Направляющие скольжения	ISO 6743-13:2002
H	Гидравлические системы	ISO 6743-4:1999
M	Жидкости для обработки металлов	ISO 6743-7:1986
N	Электроизоляция	CEI/IEC 61039:1990
P	Пневматические системы	ISO 6743-11:1990
Q	Теплоносители	ISO 6743-12:1989
R	Временная защита от коррозии	ISO 6743-8:1987
T	Турбины	ISO 6743-5:2006
U	Термическая обработка	ISO 6743-14:1994
X	Смазки	ISO 6743-9:2003
Y	Прочие области применения	ISO 6743-10:1989
Z	Цилиндры паровых машин	отсутствует

Каждая из 18 групп подразделяется на подгруппы, которым приписаны буквенные коды. Описание продукта по классификации ISO содержит следующие обозначения:

- ISO,
- букву L, обозначающую класс по ISO 8681:1986,
- буквы, обозначающие группу и/или подгруппу по ISO 6743-99:2002 или детальным стандартам,
- числа, обозначающие класс вязкости по ISO 3448 или класс консистенции NLGI по ISO 6743-99:2002.

Внутренняя классификация каждой из 18 групп продуктов содержится в отдельном детальном стандарте. Каждой группе присвоено свое буквенное обозначение [16–22].

5.3. Классификация масел для зубчатых передач промышленного оборудования по ISO

Детальная классификация масел для зубчатых передач промышленного оборудования (группы С) содержится в стандарте ISO 6743-6:1990, где выделяют следующие масла для зубчатых передач промышленного оборудования:

Таблица 6. Масла, предназначенные для смазывания закрытых зубчатых передач

Код	Состав и свойства	Типичная область применения
L-CKB	Рафинированные минеральные масла, стойкие к окислению, обладающие антикоррозионными свойствами, не пенящиеся	Малонагруженные зубчатые передачи
L-CKC	Масла типа CKB с улучшенными противозадирными и противоизносными свойствами	Передачи, работающие при постоянных температурах в диапазоне нагрузок от средних до высоких
L-CKD	Масла типа CKC с улучшенной стойкостью к окислению и термическим нагрузкам, что позволяет применять их при высоких температурах	Передачи, постоянно работающие при высоких температурах и высоких нагрузках
L-CKE	Масла типа CKB с низким коэффициентом трения	Передачи, работающие при высоком трении, например червячные передачи
L-CKS	Масла, стойкие к окислению, с противозадирными и антикоррозионными свойствами	Применяются для передач, работающих при экстремальных температурах (низких и высоких) и низких нагрузках
L-CKT	Масла типа CKS со свойствами, позволяющими использовать их при больших нагрузках	Применяются для передач, работающих при экстремальных температурах (низких и высоких) и высоких нагрузках
L-CKG	Пластичные смазки с противозадирными и противоизносными свойствами	Для непрерывного смазывания, смазывания разбрызгиванием малонагруженных зубчатых передач

Таблица 7. Масла, предназначенные для смазывания открытых зубчатых передач

Код	Состав и свойства	Типичная область применения
CKH	Продукты битумного типа с антикоррозионными свойствами	Зубчатые передачи цилиндрические и конические, работающие при умеренных температурах окружающей среды и небольших нагрузках
CKJ	Продукты типа CKH с улучшенными противозадирными и противоизносными свойствами	Данные продукты могут использоваться с летучими растворителями
CKL	Смазки с улучшенными противозадирными, противоизносными, антикоррозионными свойствами, термически стабильные	Зубчатые передачи цилиндрические или конические, работающие при высоких температурах и больших нагрузках
CKM	Продукты со свойствами, позволяющими использовать их в коррозионных условиях и при экстремальных нагрузках	Передачи, работающие нерегулярно, при очень больших нагрузках

5.4. Классификация гидравлических жидкостей по ISO

Детальную классификацию масел группы Н (гидравлических жидкостей) содержит стандарт ISO 6743-4:1999.

Жидкости для гидрокинетических гидравлических систем делятся на два вида: HA (жидкости для автоматических передач) и HN (жидкости для сцеплений и преобразователей мощности). Жидкости для гидростатических гидравлических систем делятся на следующие подгруппы:

Таблица 8. Гидравлические масла общего назначения

Код	Состав и свойства	Типичная область применения
HL	Рафинированные минеральные масла с улучшенными антикоррозионными и антиокислительными свойствами	Умеренно нагруженные системы
HM	Масла типа HL с улучшенными противоизносными свойствами	Типичные гидросистемы, содержащие тяжелонагруженные элементы
HV	Масла типа HM с улучшенными вязкостно-температурными свойствами	Строительная и морская техника
HS	Синтетические жидкости, не обладающие особыми огнестойкими свойствами	Специальное применение

Таблица 9. Биоразлагаемые масла

Код	Состав и свойства	Типичная область применения
HETG	Триглицериды	Там, где необходимы жидкости, безвредные для окружающей среды Для перевозных гидравлических систем. Минимальное содержание базовой жидкости не должно быть меньше 70%.
HEPG	Полигликоли	
HEES	Синтетические сложные эфиры	
HEPR	ПАО и другие углеводородные продукты	

Таблица 10. Масла для направляющих гидравлических систем

Код	Состав и свойства	Типичная область применения
HG	Масла типа HM с улучшенными свойствами, предотвращающими скачкообразное движение при трении	Направляющие гидравлических систем, для машин с общей системой смазки гидравлики и подшипников при наличии несильного скачкообразного движения при трении

Таблица 11. Трудновоспламеняемые гидравлические жидкости

Код	Состав и свойства	Типичная область применения
HFAE	Эмульсии масла в воде, более 80% воды	Applications requiring slow-burning fluids
HFAS	Водные растворы химических соединений, более 80% воды	
HFB	Эмульсии воды в масле	
HFC	Водные растворы полимеров, более 35% воды	
HFDR	Безводные синтетические жидкости, сложные эфиры фосфорной кислоты	
HFDU	Безводные синтетические жидкости другого состава	

5.5. Классификация индустриальных масел по DIN

Классификация вязкости индустриальных масел по DIN 51519 делит смазочные масла на классы на основе тех же критериев, что и стандарт ISO 3448.

Классификация по качеству индустриальных смазочных материалов DIN 51502, как и классификация ISO, делит смазочные материалы на группы в зависимости от области применения, а деление групп на подгруппы устанавливается детальными стандартами. Принципы классификации по качеству DIN 51502 представлены в таблице 12.

Таблица 12. Принципы классификации по качеству DIN 51502

Код	Характеристика	Детальный стандарт DIN, устанавливающий деление на классы	Классы
AN	Смазочные масла общего назначения	DIN 51501	AN
ATF	Масла для автоматических коробок передач	отсутствует	
B	Смазочные масла, содержащие битумы	DIN 51513 ч. 1-3	BA, BB, BC
C	Циркуляционные масла	DIN 51517ч. 1-3	C, CL, CLP
CG	Масла для направляющих скольжения	отсутствует	
D	Масла для пневматических устройств	отсутствует	
F	Масла для воздушных фильтров	отсутствует	
FS	Масла для смазывания литейных форм	отсутствует	
H	Гидравлические масла	DIN 51524 ч. 1-2	HL, HLP
HV	Гидравлические масла	DIN 51524 ч. 3	HVLP
HD	Моторные масла	отсутствует	
HYP	Трансмиссионные масла	отсутствует	
J	IИзоляционные масла	DIN 57370	JA, JB
K	Масла для холодильных компрессоров	DIN 51503	KA, KC
L	Масла для термической обработки	отсутствует	
Q	Масла-теплоносители	DIN 51522	
R	Средства временной защиты от коррозии	отсутствует	
S	Охладители	отсутствует	
TD	Смазочные и приборные масла	DIN 501515 ч. 1	TD
V	Масла для воздушных компрессоров	DIN 51506	VB, VC, VBL, VCL, VDL
W	Прокатные масла	отсутствует	
Z	Масла для паровых цилиндров	DIN 51510	ZA, ZB, ZD
HFA	Эмульсии «масло в воде»	DIN 24320	HFAE, HFAS
HFB	Эмульсии «вода в масле»	отсутствует	
HFC	Водные растворы полимеров	отсутствует	
HFD	Неводные жидкости	отсутствует	HFDR, HFDS, HFDT, HFDU

6. Гидравлические масла

Гидравлические устройства используются во многих отраслях промышленности – горнодобывающей, металлургической, автомобильной, транспортной и т. д. Рабочим веществом в гидравлическом оборудовании является жидкость. От ее вида и качества зависит надежность, срок службы и безотказная работа всей системы. В зависимости от конструкции и условий эксплуатации применяются разные гидравлические жидкости, называемые также рабочими жидкостями или маслами.

По химическому составу гидравлические жидкости можно разделить на следующие группы:

- минеральные масла,
- синтетические гидравлические масла,
- трудновоспламеняемые гидравлические жидкости,
- биоразлагаемые гидравлические масла.

Гидравлические минеральные масла – это, как правило, специально подобранные минеральные основы, в которые добавлены присадки, обеспечивающие соответствующие свойства масла. Они характеризуются хорошей термоокислительной стабильностью, стойкостью к коррозии и другими физико-химическими и эксплуатационными свойствами в зависимости от своего состава.

Синтетические гидравлические масла – это, как правило, углеводородные масла на основе полиальфаолефинов (ПАО), синтетических сложных эфиров или полигликолей.

Трудновоспламеняемые гидравлические жидкости, как правило, производятся для горной и литейной промышленности, а также для всех областей, в которых присутствует пожарная опасность и не находят применения традиционные минеральные масла. Чаще всего встречающимися трудновоспламеняемыми гидравлическими жидкостями являются микроэмульсии HFAE, HFB и синтетические водные растворы полимеров HFC.

Биоразлагаемые гидравлические масла – это масла, в которых масляной основой являются синтетические сложные эфиры, белые масла или масла растительного происхождения с определенным набором присадок.

Производятся также гидравлические жидкости специального назначения. Это масла для пищевой промышленности, гидравлические трансмиссионные жидкости, универсальные моторно-трансмиссионно-гидравлические масла, гидравлические жидкости с высоким

индексом вязкости и низкой температурой текучести, применяемые в авиации.

6.1. Функции гидравлических масел

Гидравлическая жидкость передает энергию от гидравлического привода, которым обычно является насос, к приемникам энергии, например гидродвигателям. Задача насоса заключается в обеспечении гидросистемы достаточно большим количеством масла/рабочей жидкости под соответствующим давлением, что приводит в движение элементы гидростистемы и вызывает выделение тепла.

Гидравлическая жидкость должна осуществлять следующие функции:

- переносить силу,
- переносить давление и уплотнять,
- смазывать и уменьшать изнашивание,
- отводить тепло.

Гидравлическая жидкость при эксплуатации должна обладать следующими параметрами:

- стойкость к окислению и гидролизу,
- стойкость к пенообразованию,
- склонность к выделению воздуха,
- деэмульгирующие свойства,
- ограниченная воспламеняемость,
- биоразлагаемость.

6.2. Основные параметры гидравлических масел

Вязкость и индекс вязкости

Самым важным параметром, характеризующим свойства гидравлических (и прочих) масел, является вязкость и ее изменение в зависимости от условий работы системы (давления, температуры). С ростом давления вязкость масла возрастает, а повышение температуры, напротив, приводит к уменьшению вязкости.

От вязкости зависит степень уплотнения подвижных систем и качество смазки подвижных узлов – она должна быть подобрана таким образом, чтобы при нагревании системы до рабочей температуры в подвижных узлах исполнительных механизмов возникало жидкостное трение. Устройства, работающие в широком диапазоне температур, нуждаются в жидкости с высоким индексом вязкости (ИВ), т.е. в меньших изменениях вязкости масла в зависимости от температуры, и обладающей необходимой прокачиваемостью при самой низкой рабочей температуре. Индекс вязкости является параметром, который зависит от группового состава содержащихся в масле углеводородов. Правильный выбор вязкости имеет значение при отводе тепла от узлов трения. В случае применения масла с меньшей вязкостью отвод тепла больше, однако вязкость должна обеспечивать требуемое смазывание. Принято считать, что для масляных гидравлических систем минимальная допустимая вязкость составляет 5 мм^2/с. Очень важным параметром является влияние давления на вязкость, поскольку при повышении давления вязкость тоже растет. Вследствие продолжительного влияния давления масло в системе может утратить свои свойства и будет подвергаться деформации сдвига под действием механических сил.

Выделение воздуха

При необходимости ограничить присутствие воздуха в гидросистеме очень важна способность масла к быстрому выделению воздуха. Растворимость воздуха в гидравлическом масле является функцией давления в гидросистеме. В районах скачкообразного понижения давления происходит резкое выделение пузырьков воздуха. Пена, образующаяся в зонах с большой скоростью циркуляции, может вызвать кавитационное повреждение поверхности клапанов и насосов. Гидравлическую систему необходимо конструировать и эксплуатировать таким образом, чтобы избежать попадания в нее воздуха.

Образование пены в гидросистеме приводит к опасности утечки гидравлической жидкости и всасывания избыточного воздуха, а в результате – к сбоям в работе системы. В связи с этим гидравлические жидкости должны обладать хорошими противопенными свойствами.

Смазочные свойства

Гидравлические масла применяются во все более форсируемых системах, работающих в условиях высокой нагрузки, поэтому они должны характеризоваться хорошими противоизносными свойствами и защищать взаимодействующие детали от чрезмерного износа. В состав гидравлических масел необходимо включать противозадирные и противоизносные присадки. Органические или металлоорганические присадки позволяют придать гидравлической жидкости требуемые противоизносные свойства даже при очень большом давлении. Они образуют на металлической поверхности слой масляной пленки, уменьшающей вероятность появления микрозадиров.

Стойкость к эмульгированию

Гидравлическое масло должно характеризоваться высокой степенью стабильности в присутствии воды, от которой оно должно отделяться быстро и полностью. Вода способствует коррозии, вызывает гидролиз присадок, образует с маслом эмульсию, благоприятствуя появлению осадков и блокированию фильтров, что может привести к изнашиванию деталей – а в результате к сбоям в работе всей гидросистемы.

Масло должно обладать стойкостью к эмульгированию и легко выделять воду, которая подверглась дисперсии, а также содержать присадки с высокой гидролитической стойкостью.

Термическая стабильность

При работе гидравлической системы температура масла начинает повышаться. Повышение температуры, даже краткосрочное, может приводить к ухудшению качества гидравлической жидкости в результате ее окисления и термического разложения. Продукты разложения оказывают коррозионное действие на металлы, образуют осадки и шламы. В экстремальных условиях применяются маслоохладители, обеспечивающие работу в стабильных температурных условиях.

Действие на уплотнения и провода

Гидравлические масла не должны оказывать разрушительного действия на материалы

уплотнений и проводов гидросистемы, такие как резина, тефлон и другие пластические массы. Недопустимо применение в гидросистемах элементов, которые под действием масел будут набухать, затвердевать или растворять провода и уплотнения, приводя к остановке или поломке гидравлической системы. Рецептуры гидравлических масел составляются таким образом, чтобы их компоненты не вступали в реакции с деталями гидросистемы.

Фильтруемость

В современных гидравлических системах, оснащенных фильтрами тщательной очистки, должны применяться масла, обладающие соответствующей фильтруемостью, то есть способностью к непрерывной циркуляции. Присутствие некоторых функциональных добавок может приводить к уменьшению фильтруемости. Эта способность может уменьшаться также из-за присутствия в гидравлическом масле воды и продуктов окисления. Наиболее распространенным методом определения фильтруемости является метод DENISON TP-02/100, применяемый для оценки фильтруемости свежих гидравлических жидкостей [20–27].

Чистота гидравлических жидкостей

Растущие ожидания, связанные с качеством гидравлических масел в гидросистемах, приводят к необходимости применять жидкости с высокой степенью чистоты. Для этого требуется доставить конечному пользователю масло определенного класса чистоты, залить в гидросистему чистое масло, контролировать чистоту масла и обеспечить правильный уход за гидросистемой, в том числе следить за исправностью системы фильтрации. Класс чистоты гидравлических масел определяется в зависимости от содержания в них твердых частиц по двум стандартам: NAS 1638 (все твердые частицы, содержащиеся в пробе объемом 100 мл, подсчитываются и делятся на группы в зависимости от размера) и ISO 4406:99 – степень загрязненности гидравлического масла описывается тремя числами (например ISO 18/16/13), информирующими о количестве твердых частиц размером более 4, 6 и 14 мкм в 100 мл исследуемой жидкости. Однако чаще всего результат описывается с помощью двух чисел (ISO */16/13).

Таблица 13. Сравнение классов чистоты гидравлических жидкостей

Класс чистоты по ISO 4406	Класс чистоты по NAS 1638	
22/20/7		
21/19/16	12	
20/18/15	11	12
19/17/14	10	11
18/16/13	9	10
17/15/12	9	8
16/14/11	8	7
15/13/10	7	6
14/12/9	6	5
13/11/8	5	4
12/10/7	4	3
11/9/6	3	2
10/8/5	2	1
9/7/4	1	0
8/6/3	0	00
7/5/2	00	
6/4/1		
5/3/1		
4/2/0,9		
3/1/0,9		

Класс чистоты всегда связан с системой, в которой находится данное масло, а значит, он может измениться, если перелить масло в другой резервуар. Чтобы получить нужный класс чистоты, необходимо еще раз профильтровать масло после того, как оно залито в систему. Следует помнить, что всегда после замены масла необходима надлежащая очистка системы перед повторной заливкой. В таблице 13 представлено сравнение классов чистоты NAS и ISO.

6.3. Спецификации производителей

Требования к качеству гидравлических масел установлены двумя стандартами: ISO 6746/4 и DIN 51524 ч. 1–3. Требования стандартов ISO и DIN представлены в разделе 5.

DENISON	EATON VICKERS	CINCINNATI MILACRON
Фильтруемость методом TP-02/100	Противоизносные свойства на лопастном насосе Vickers 35VQ25, который характеризуется повышенным рабочим давлением и большей производительностью по сравнению с насосом Vickers C 104	Термическая стабильность методом P-75
Гидролитическая стабильность методом ASTM D 2619		
Термическая стабильность методом Cincinnati Milacron P-75		
Противоизносные свойства на насосах		
Denison (лопастном и поршневом)		

Кроме этих двух стандартов производители гидравлического оборудования (Denison HF-0, HF-1,HF-2; Eaton Vickers M-2950-S, I-286-S; Cincinnati Milacron P-68, P-69, P-70) разработали собственные фирменные спецификации. По сравнению со стандартом DIN 51524 данные спецификации используют новые методы исследований, расширяют диапазон определяемых свойств масел.

Общая черта этих спецификаций – введение требования испытаний масла на стенде с гидравлическим насосом, моделирующим работу гидросистемы. Стандарт DIN 51524 и спецификация Denison HF-0 (только для вязкости VG 32-68) охватывают широкий диапазон свойств, существенных для испытаний гидравлических масел. Значимые с точки зрения производителей свойства охватывают спецификации M-2950-S и P-70 [27–32].

6.4. Уход и надлежащие условия работы

Срок службы гидравлического масла зависит от многих факторов, в частности, от конструкции гидросистемы, свойств материала, из которого она сделана, рабочей температуры, условий окружающей среды, нагрузок на установку, химического состава масла и добросовестности обслуживания.

Гидравлическое масло следует беречь от загрязнения внешними материалами (такими как пыль, песок, ржавчина, вода и другие твердые загрязнения) во время его переливания, транспортировки к оборудованию и работы в гидросистеме. По мере возможности следует обеспечить мониторинг основных параметров, от которых зависит работа системы, таких как вязкость, содержание воды, чистота, кислотное число. Эти исследования можно проводить в месте эксплуатации гидравлического масла. Как правило, масляный сервис LOTOS Oil проводит такие исследования. После обнаружения нарушений часть из них можно быстро устранить на месте, что позволит избежать простоев в работе машин.

7. Трансмиссионные масла

Наибольшее влияние на условия работы масла в передачах оказывает удельное давление между взаимодействующими деталями, скорость скольжения зубьев в местах их соприкосновения и температура. Совершенствование конструкций промышленных передач привело к повышению требований к маслу, которое используется для смазывания не только деталей зубчатых зацеплений, но и подшипников.

Помимо традиционных масел, производимых путем переработки нефти, можно выделить синтетические масла ПАО и ПАГ (на основе синтетических полиальфаолефинов и полигликолей – масла ПАГ нельзя смешивать с другими маслами для промышленных передач) с соответствующими присадками, отвечающие жестким стандартам производителей передач.

Индустриальные трансмиссионные масла в зависимости от области применения содержат следующие присадки:

- противозадирные (EP),
- противоизносные (AW),
- ингибиторы окисления,
- модификаторы трения,
- противоржавейные и антикоррозионные,
- противопенные,
- диспергенты.

В зависимости от области применения количество присадок колеблется от 2 до 8%.

Основные места и области применения индустриальных трансмиссионных масел:

- стальная промышленность,
- шинная промышленность,
- горная и добывающая промышленность,
- энергетика,
- сельское хозяйство,
- буровое оборудование,
- цепные конвейеры.

7.1. Классификация передач

Передача – это механизм или система машин, служащие для переноса движения с ведущего (приводного) элемента на ведомый элемент с одновременным изменением параметров движения, т.е. скорости и силы или момента силы.

В зависимости от вида физического явления, положенного в основу их действия, передачи делятся на:

- механические,
- электрические,
- гидравлические,
- пневматические.

В зависимости от конструктивных особенностей можно выделить следующие типы передач:

- зубчатые,
- косые,
- конические,
- червячные.

Основное различие между отдельными видами передач заключается в способе переноса силы, от которого зависит вид масла, который нужно использовать для защиты соприкасающихся поверхностей. Можно использовать различные виды масел: для легких, средних, тяжелых условий работы, с улучшенными противозадирными свойствами, специальные для червячных передач, минеральные, ПАГ, ПАО, полужидкие.

Передачи характеризуются следующими основными величинами:

- передаточное отношение,
- коэффициент полезного действия,
- мощность,
- вращающий момент.

В зависимости от вида передачи применяются различные методы смазывания:

- погружением,
- разбрызгиванием,
- масляным туманом,
- капельное,
- под давлением.

По количеству подводимого смазочного материала различают непрерывное и периодическое смазывание.

7.2. Функции трансмиссионных масел

Индустриальные трансмиссионные масла должны выполнять следующие задачи:

- переносить мощность,
- уменьшать трение и износ,
- отводить тепло трения,
- отводить продукты износа из зоны трения,
- уменьшать вибрацию и шум,
- защищать от коррозии,
- защищать от питтинга (точечной коррозии).

Для выполнения этих задач индустриальные трансмиссионные масла должны обладать

следующими физико-химическими свойствами.

Вязкость

Для закрытых передач обычно используют индустриальные трансмиссионные масла в классах вязкости ISO VG 68-1000. Для открытых зубчатых передач используются масла высокой и очень высокой вязкости. Масляная пленка в промышленных передачах подвергается действию больших сдвигающих сил и высокого удельного давления. Чем выше вязкость масла, тем труднее вытеснить его с поверхностей трения, что приводит к граничному смазыванию, а в результате – к заеданию. Не могут применяться масла слишком высокой вязкости из-за увеличения сопротивления внутреннего трения, потери энергии и роста температуры масла, а в результате – ускорения процесса его старения.

Коррозию стальных зубьев передачи вызывают кислые продукты окисления масла и присутствующая в системе вода. Некоторые EP-присадки могут вызывать коррозию элементов, изготовленных из бронзовых сплавов. Выбирая масло для системы, надо помнить об особых свойствах присадок.

Термоокислительная стойкость

Ухудшение основных физико-химических параметров масла может произойти из-за роста концентрации продуктов окисления масла, которые образуются вследствие локальных повышений температуры, присутствия в системе воды и элементов износа передачи, действующих как катализаторы процесса окисления. Для предотвращения старения масла следует улучшить его термоокислительную стойкость путем добавления нужного количества ингибиторов окисления на этапе составления рецептуры масла.

Деэмульгирующие свойства

Трансмиссионное масло должно обладать высокой стойкостью к эмульгированию на случай попадания в систему воды (работа в водной среде, контакт масла в технологических системах с водными эмульсиями). Хорошие деэмульгирующие свойства масла обеспечиваются введением в состав масла правильно подобранных присадок.

Совместимость с уплотнениями

Все трансмиссионные масла должны быть совместимы с уплотнениями и не должны вызывать их набухание, усадку или повреждение, а в результате утечку масла и попадание в передачу нежелательных элементов из окружающей среды. Перед каждой заменой одного трансмиссионного масла другим надо уточнить у производителя, обладают ли уплотнения стойкостью к действию масла, которое мы хотим использовать в своих машинах.

Стойкость к пенообразованию

Смазывание пеной – нежелательный способ разделения трущихся поверхностей и образования стойкой масляной пленки. Чрезмерное пенообразование ускоряет деградацию масла и его утрату (в крайних случаях дело доходит до утечки вспененного масла из устройства через вентиляционные отверстия) [24, 29–31].

7.3. Выбор масла для передачи

Чтобы выбрать масло для промышленной передачи, следует учесть следующие критерии:

- тип передач,
- вращательная скорость,
- степень редукции,
- диапазон рабочих температур (минимум, максимум),
- переносимая мощность,
- поверхность соприкосновения зубьев,
- характеристика нагрузок,
- способ управления,
- содержание воды в масле.

7.4. Спецификации OEM трансмиссионных масел

Спецификации трансмиссионных масел подробно описаны в разделе 5.3. Кроме спецификации ISO наиболее распространенным стандартом качества является DIN 51517, который содержит испытания на:

- деэмульгируемость (ASTM D 1401, IP-19),
- окисление (ASTM D 2893B),
- FAG FE8 – износ подшипника (роликового, не более 30 мг изменения массы),
- уплотнение SRE-NBR 28,
- тест FZG,
- коррозию на пластинках из меди (ASTM D 130),
- вспенивание (ASTM D 892).

Прочие спецификации:

AGMA 9005-D94 и 9005-E02 EP-масла

- испытание Timken не обязательно,
- соотнесение результатов испытания на окисление и деэмульгирующих показателей с классами вязкости.

US Steel 224

Renk

- соответствует DIN 51517-3.

David Brown S1.53.101 Siemens/Flender

- общее промышленное применение,
- дополнительные требования для уплотнений,
- испытание на стойкость к микропиттингу Flender FVA 54/II,
- тест FZG A/16.6/90 DIN ISO 14635-1.

Hansen

- общее промышленное применение,
- требования к смазыванию передач ветряных электростанций.

Muller Weingarten

- передачи гидравлических прессов.

Cincinnati Lamb Landis P-74 (C-220)

General Motors LS-2

8. Элементы масляного сервиса

Управление, ориентированное на результат, считается в промышленности вызовом XXI века. Этот подход отличается от популярных концепций последних десятилетий XX века, когда ставились следующие цели: экономия затрат (70-е годы XX века), повышение качества (80-е годы XX века), контроль за процессами и их оптимизация (90-е годы XX века). Сегодня производство и тяжелая промышленность для достижения экономических результатов вынуждены вносить изменения в методы обеспечения бесперебойной работы оборудования, чтобы машины и их обслуживание гарантировали своеобразный «минимакс», т.е. максимальную производительность, минимальный вред для окружающей среды и сокращение численности персонала.

Такой подход требует изменений в работе производителей и их поставщиков, вводит новые понятия или меняет их значение для достижения цели – желаемого экономического результата.

На практике это сводится к признанию значимости новых стратегий и практик, таких как:

- Превентивное и прогнозируемое обслуживание – достижение безаварийной работы машин путем замены оборудования, деталей, масла и пр. заранее, а не тогда, когда они придут в негодность. Превентивные и прогнозируемые действия связаны с их своевременной заменой благодаря применению таких техник, как мониторинг, анализ повторяющихся событий, извлечение выводов и внедрение новых процедур и методов, предотвращающих простои и другие события (внеплановые простои / приостановка производства могут привести к потере планового времени и стоимости продукции в несколько процентов).
- Снижение затрат на эксплуатацию – обслуживание в сочетании с превентивными действиями и прогнозируемым обслуживанием, ориентированное на результат, показывает, что можно достичь бесперебойности при снижении затрат. Такое изменение подхода к решению проблем эксплуатации берет свое начало в трансформации технической культуры и структур промышленных предприятий. Оно связано также с аналогичной трансформацией культуры работы партнеров промышленных предприятий, обусловленной их желанием привести свою продукцию в соответствие с новыми требованиями.
- Выбор поставщика – ввиду большой конкуренции на рынке и сходства продуктов, предложения поставщиков можно оценивать не только по цене, но и по предлагаемому послепродажному обслуживанию. Это касается как подузлов, так и масел и прочих смазочных материалов и эксплуатационных жидкостей.

В эволюции обеспечения бесперебойной работы промышленного оборудования, начиная от аварийного режима и заканчивая превентивными мерами, подспорьем в работе отделов технического обслуживания является масляный сервис.

8.1. Методология работы масляного сервиса

Смазочный материал можно рассматривать как конструктивный элемент машины, который необходимо проектировать, проверять, за которым необходимо следить и ухаживать.

Отношение к смазочному материалу как к особой составной части оборудования обосновано тем, что смазочный материал, циркулирующий в смазочной системе, вступает в контакт со всеми деталями машины. Контакт масла со всеми деталями машины приводит к тому, что в зависимости от места пребывания в системе оно подвергается различным воздействиям, а также переносит внешние загрязнения и загрязнения, образующиеся в месте смазывания.

По этим причинам смазочное масло в машине можно рассматривать как:

- самую быстроизнашивающуюся составную часть машины,
- самый слабый конструктивный элемент, подверженный наиболее многочисленным воздействиям,
- самый дешевый элемент системы,
- элемент, который необходимо менять чаще других,
- элемент, который принято считать самым очевидным источников проблем,
- наиболее информативный показатель качества работы системы (такую информацию дает мониторинг изменения качества масла).

Обслуживание, или сервис, масла (мониторинг его качества) является главным элементом в построении превентивного (т.е. наиболее безопасного) режима технического обслуживания. Сервис масла является элементом философии смазочного хозяйства, понимаемого как сумма двух элементов:

- закупка смазочных материалов,
- применение смазочных материалов.

Сервис масла включает в себя следующие действия:

- замена масла в гидравлических, смазочных системах, передачах,
- неполнопоточная фильтрация масла для достижения требуемого класса чистоты в рабочей системе, при помощи специализированных фильтрационных агрегатов,
- вымывание загрязнений из масляных систем,
- проверка и очистка масляных резервуаров,
- диагностика систем и исследование масел,
- ликвидация утечек,
- отбор проб.

Перечисленные действия являются элементом так называемой контролируемой эксплуатации, включающей в себя:

- проведение аудитов – оценки состояния масляных систем и смазочного хозяйства с точки зрения оптимизации общих затрат на техническое обслуживание,
- мониторинг – определение объема, целей, граничных параметров и программ наблюдения,
- рекомендации,
- исполнительную часть – инспекции, отбор проб, анализы,
- управление результатами, заключающееся в интерпретации результатов и явлений, которое модифицирует объем мониторинга.

Отдельными задачами, которые реализует сервис масла, являются обучение и консультирование.

8.2. Причины утраты машинами эксплуатационных свойств

Во время работы в узле трения образуются продукты износа взаимодействующих деталей, в него проникают загрязнения извне (вода, пыль и т.п.), а также на поверхности трения влияют факторы окружающей среды (температура). Перечисленные явления помогают определить точность выполнения элементов, а также способ и режим эксплуатации, а в самом нежелательном случае могут привести к уменьшению производительности машины,

снижению качества изготавливаемых на ней изделий или вывести ее из строя.

Сценарий нежелательных изменений охватывает три фазы:

1. повреждение поверхности,
2. разрушение,
3. авария.

Из всех возможных практик эксплуатации наиболее выгодными представляются те, которые используют инструменты, позволяющие предотвращать наступление второй и третьей фазы, но возможнен и такой контроль за состоянием системы, который позволяет также предотвратить наступление первой фазы. С развитием технической культуры появляются решения, позволяющие менять режим эксплуатации машин, переходя от допуска возможности аварии к профилактике, т.е. плановому техническому обслуживанию. Главной целью эксплуатации машин является обеспечение их бесперебойной работы в периоды, установленные циклом производства и обслуживания. Эту цель можно достичь путем разработки программы эксплуатации, основанной на принципе надежности, однако для этого необходимо сотрудничество, в рамках программ обеспечения бесперебойной работы оборудования, как операторов машин, так и персонала, занимающегося техобслуживанием.

Концепция программы надежной эксплуатации зависит от местных условий, поэтому на разных производственных предприятиях она будет разной, однако во всех случаях она должна отвечать на следующие вопросы:

- Как осуществлять мониторинг оборудования?
- Как интерпретировать явления и вести их учет?
- Что делать, а чего не делать, когда обнаружена проблема?
- Какие права и обязанности должны иметь работники отдела технического обслуживания?

Эффективные решения могут быть найдены персоналом производственного предприятия методом проб и ошибок. Однако более экономичным способом внедрения изменений представляется сотрудничество с поставщиками элементов смазочных систем, которые зачастую обладают богатым опытом, а порой могут предложить готовые решения, опираясь на похожие процедуры других пользователей, которые также столкнулись с проблемами и уже предприняли действия по их решению. Вместо сотрудничества можно передать в подряд выполнение определенных работ.

8.3. Профилактика как эффективный метод обеспечения бесперебойной работы машин

Профилактика – это самое первое, что можно сделать для предотвращения аварий. Она заключается в выявлении причин, симптомов отклонений в работе оборудования и устранении причин, источников этих явлений в окружении и в самом рабочем оборудовании. Данный метод можно подразделить на:

- активный (выявление источников, наблюдение, устранение источников симптомов),
- пассивный (анализ симптомов, повреждений, аварий, продуктов износа).

Для обеспечения безаварийной эксплуатации машины следует убедиться в правильности ее конструкции и условий эксплуатации. В рамках профилактических мероприятий огромное значение имеет правильный выбор смазочного материала.

При выборе данного элемента системы необходимо учитывать следующие факторы:

- вид материала (масло, смазка, паста, жидкость),
- условия окружающей среды (диапазон рабочих температур окружающей среды и системы),
- рабочая среда (влажность, запыленность, вид энергоносителя),
- скорости и вид взаимодействующих элементов,
- вид и качество уплотнителей,
- рекомендации производителя машины.

Сервис масла является дополнительным елементом, который строит отношения с клиентом, как партнером и превращает предмет продажи смазочного материала в покупку правильной смазочной технологии с профилактическим эффектом.

8.4. Профилактика в рамках сервиса масел

Сведения об эксплуатации, полученные в рамках сервиса масел на основании анализов масла и других превентивных действий, являются предпосылкой к возможной модификации смазочного материала и/или системы эксплуатации через:

- улучшение свойств смазочных материалов и придания им новых свойств путем внесения изменений в их рецептуру,
- внедрение новых эксплуатационных методов и процедур,
- создание индивидуальной программы и системы эксплуатации.

На основании данных, полученных в ходе сервиса масел, во многих случаях предлагается программа управления смазочным хозяйством, которая может иметь отношение ко всем или к некоторым действиям из представленного ниже перечня:

- создание планов обслуживания,
- выбор и поставка смазочных материалов,
- наблюдение за пробной эксплуатацией,
- протоколирование,
- разработка решений,
- пуск машин,
- поставка оборудования для введения смазочных материалов,
- отбор проб,
- проведение экспертиз,
- замена смазочных материалов.
- неполнопоточная фильтрация,
- наполнение систем,
- прочие задачи по согласованию с заказчиком.

9. Анализ масел

Исследования масла в ходе эксплуатации в рамках мониторинга качества масла и эксплуатации машины можно проводить в различной последовательности. Как правило, исследование масла проводится путем лабораторных, микроскопных измерений, с помощью автоматических измерительных приборов.

9.1. Лабораторные и собственные исследования Отдела Сервиса Масел

Лабораторные исследования позволяют:

- в полной мере оценить состояние свойств масла и произошедших в нем изменений,
- в полной мере оценить состояние машины путем анализа частиц (измерение ферромагнитных частиц) и продуктов износа смазываемых поверхностей,
- провести количественное измерение содержания в масле металлических частиц износа, которое дает больше всего информации о состоянии смазываемой маслом машины:
  - получить данные о правильности выбора смазочного материала,
  - получить данные о качестве используемых материалов,
  - выделить первый симптом появления дефектов в технике,
- провести измерения содержания элементов, образовавшихся в результате износа смазываемых поверхностей (спектрофотометрия),
- провести измерения эксплуатационного потенциала смазочного материала (содержание элементов, входящих в состав присадок).

Ниже приведены примеры лабораторных исследований масел в рамках мониторинга смазочного материала (масла).

Таблица 14. Полная схема лабораторного исследования

Параметр	Анализ	Норма
Кинематическая вязкость при 40°C	Определение кинематической вязкости темных продуктов	ASTM D 445, IP 71, ISO 3104
TAN	Определение общего кислотного числа	PN-88/C-04049, ASTM D 664, ISO 6619
Содержание воды[1]	Определение содержания води дистилляционным методом	PN-83/C-04523, ASTM D 95
Содержание воды[1]	Определение содержания воды по методу Карла Фишера	ASTM D 1744, ASTM D 4928, ASTM D 6304, PN-EN ISO 12937:2002(U)
Загрязнения	Определение содержания чужеродных тел в смазочных и гидравлических маслах на мембранном фильтре	PN-91/C-04178
Содержание химических элементов	Определение содержания Zn, Al, Fe, Cr, Cu, Pb, Si, Na в пробах масла	XRF – собственный метод
Деэмульгирующие свойства	Определение деэмульгирующих свойств масло-вода	PN-86/C-04065, ASTM D 1401
Фильтруемость	Определение времени фильтрования гидравлических масел без воды или с водой	PN-90/C-04188
Число частиц загрязнений	Определение класса частоты	ISO 4406, NAS 1638
Содержание износного железа	Определение содержания в масле железа в металлической форме (неокисленного, растворенного)	Метод Kittiwake

[1]Выбор метода определения содержания воды в зависимости от содержания H_2O

Таблица 15. Полный набор собственных исследований Масляного сервиса

Параметр	Анализ	Норма
Кинематическая вязкость	Определение вязкости масла при температуре окружающей среды	Согласно показаниям прибора PCM 400 Pall
Содержание воды	Определение степени насыщения масла связанной водой	Согласно показаниям прибора PCM 400 Pall
Число частиц загрязнений	Определение класса частоты	ISO 4406, NAS 1638 Согласно показаниям прибора PCM 400 Pall или автоматического измерения на основании исследования под микроскопом поверхности фильтра
Содержание железа от износа	Определение содержания в масле железа в металлической форме (неокисленного, растворенного)	Метод Kittiwake
Кислотное число	Определение кислотного числа по показателям	Метод Kittiwake

Отчет о лабораторных исследованиях

Гданьск, 27-03-12

LOTOS OIL

Польша, 80-718, г. Гданьск, ул. Эльблонска, 135

ОТЧЕТ ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ W 12/99-7

Клиент:	Euroafrica - Galileusz
Машина:	передача SG № 1
Продукт:	Transmil SP 100
Время работы:	84325
Дата заказа / дата отбора пробы:	2012-03-10 / 2012-03-20
Дата проведения исследований:	с 2012-03-20 по 2012-03-23
Проба доставлена LOTOS Oil	

Параметр	Единицы	Результат измерения	Метод исследования
Кинематическая вязкость при 100°C	мм²/с	10,80	PN-EN-ISO 3104:2004 A
Кинематическая вязкость при 400°C	мм²/с	96,66	PN-EN-ISO 3104:2004 A
ИВ		95	ASTM D 2270-04A
Кислотное число	мг KOH/г	0,658	PN-88-C-04049
Щелочное число	мг KOH/г		ASTM D 2896:07A
Температура воспламенения о.т.	°C	205	PN-EN ISO 2719:2007 A
Содержание загрязнений, нерастворимых в н-гептане	% (м/м)	0,031	PN-91/C-04178
Содержание загрязнений, нерастворимых в н-гептане ities insoluble in n-heptane	% (м/м)		DIN 51365
Содержание воды	% (м/м)	0,01	PN ISO 3733:2008
Класс чистоты	код		ISO 4406
Содержание железа от износа	мг/кг	1	PB M330 PB-1
Содержание железа	мг/кг	31	PB M238 PB-1
Содержание алюминия	мг/кг	<5	PB M238 PB-1
Содержание олова	мг/кг	12	PB M238 PB-1
Содержание меди	мг/кг	12	PB M238 PB-1
Содержание кремния	мг/кг	<5	PB M238 PB-1
Содержание фосфора	% (м/м)		PB M238 PB-1
Содержание натрия	мг/кг	4,2	ASTM D 5863
Содержание цинка	мг/кг	136	PB M238 PB-1
Содержание кальция	мг/кг	<50	PB M238 PB-1
Эмульгирование с водяным паром	с		PN-C 4100:2001
Выделение воздуха	мин.		PN-79/C-04174
Деэмульгирующие свойства	масло/вода/эмульсия(t)	40/40/0(32)	PN-86/C-04065
Вспенивание при 24°C			PN-ISO 6247:2009
Вспенивание при 93°C			
Вспенивание при температуре от 24°C до 93°C			
Плотность при 20°C	г/см3		PN-EN ISO 12185:2,002A
Содержание антиоксиданта	% (м/м)		FTIR

Внимание!
1. Отчет может копироваться без нашего разрешения только полностью.
2. Результаты измерений относятся исключительно к исследованной пробе.
3. Индекс A рядом с методом означает метод, аккредитованный Польским центром аккредитации (№ сертификата AB 474)

За LOTOS Lab

9.2. Исследования в полевых условиях

Исследования под микроскопом облегчают визуализацию возможных проблем и могут документироваться фотографическим путем. В частности они:

- дают изображение содержащихся в масле частицах,
- облегчают и ускоряют получение результатов анализа,
- не требуют отбора проб (измерения отражают состояние масла непосредственно в машине).

Ниже представлены три примера идентификации состояния смазочного материала на основании исследований под микроскопом:

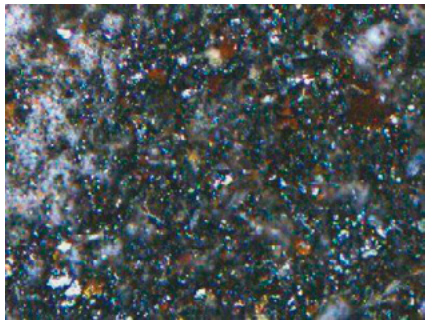

Рис. 1

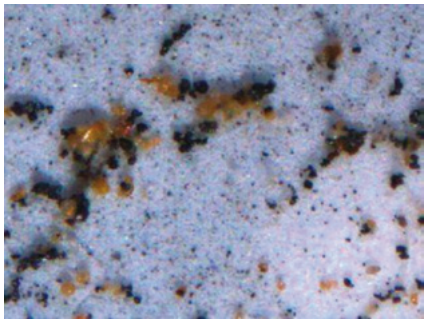

Рис. 2

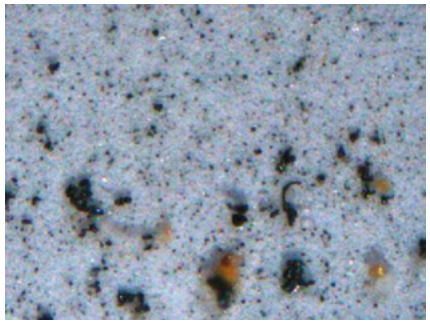

Рис. 3

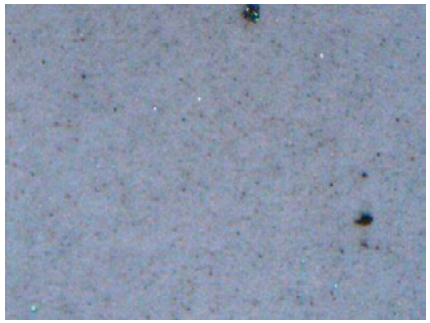

Рис. 4

Рис. 1 – очень грязное масло (масло из передачи прокатной клети металлургического завода).
Рис. 2, 3 – масло с опилками и ржавчиной (турбинное масло, неправильно использованное для смазывания системы двигатель-передача).
Рис. 4 – гидравлическое масло (класс чистоты NAS 8). Автоматические измерительные приборы служат для онлайновых измерений параметров работы системы и масла (вязкость, чистота, содержание воды, температура измерения).

10. Продукты LOTOS Oil для промышленности

Transmil Synthetic

Синтетическое трансмиссионное масло Transmil Synthetic предназначено для применения в промышленных передачах и других устройствах, работающих в условиях очень больших механических и термических нагрузок. Масло Transmil Synthetic изготавливается на основании синтетических полиальфаолефинов (ПАО), которые обеспечивают исключительную термическую стабильность масла и способность переносить очень высокие нагрузки. Масло обладает очень хорошими антиокислительными, антикоррозионными и деэмульгирующими свойствами.

Рецептура масла обеспечивает:

- возможность эксплуатации при низких и высоких температурах – использованные базовые компоненты ПАО с высоким индексом вязкости уменьшают степень изменения вязкости с изменением температуры,
- очень длительные периоды эксплуатации с пониженным риском засорения фильтров,
- смазывание каландров, различных типов передач, подшипников, в том числе работающих в условиях экстремальных термических и механических нагрузок,
- хорошие деэмульгирующие свойства даже при контакте с морской водой, смешиваемость с другими минеральными маслами, ПАО.

Спецификации, классификации:
ISO 3448: VG 32,46,68,100,150, 220,320,460
ISO 6743-6: L-CKT
DIN 51517 ч. 3 CLP
Допуски:
Flender FVA – Micropitting
Grupa Famur

Transmil Extra XSP

Трансмиссионное масло Transmil Extra XSP – это высочайшего качества минеральное индустриальное масло. Масло разработано для обеспечения максимальной защиты механизма передачи даже в экстремально трудных условиях масляного смазывания. Масло Transmil Extra XSP изготавливается из высококачественных модифицированных водородом масляных основ глубокой очистки со специальными беззольными присадками, улучшающими смазочные свойства, противопенными, деэмульгирующими присадками, присадками, предотвращающими микропиттинг и обеспечивающими нейтральность масла и его совместимость с материалами, из которых изготовлены уплотнители передачи. Благодаря специальной рецептуре базовых масел и комплексов присадок масло Transmil Extra XSP по сравнению с классическими трансмиссионными маслами характеризуется повышенной стойкостью к термическим нагрузкам, надежно защищает от коррозии, не оказывает негативного влияния на исправность очистительных фильтров, даже во влажных условиях. Это масло совместимо с конструкционными сталями и другими сплавами различных металлов. Масло Transmil Extra XSP выпускается в классах вязкости 150–1000 и рекомендуется для закрытых промышленных зубчатых приводов, включая стальные лобовые передачи и шестерни, конические угловые, планетарные, винтовые передачи и редукторные двигатели. Прекрасная защита от микропиттинга и отличные противоизносные свойства обеспечивают:

- продление срока службы передач и подшипников в закрытых зубчатых передачах, работающих в условиях экстремальной нагрузки, переменных скоростей и температур,
- оптимальную защиту поверхностей смазываемых деталей,
- защиту от изнашивания и долговечность деталей смазываемых систем.

Очень хорошая стойкость к термоокислению и разложению при высоких температурах обеспечивает продление интервалов работы масла, упрощение процесса замены и снижение связанных с ней расходов.

Очень хорошая стойкость к ржавчине и коррозии, а также эмульгированию обеспечивает:

- равномерную, бесперебойную работу при высоких температурах и в условиях контакта с водой,
- прекрасную совместимость с мягкими и цветными металлами.

Предотвращает засорение фильтров, даже во влажной среде, что приводит к сокращению количества замен фильтров и снижению затрат по уходу.

Спецификации, классификации:
ISO 3448: VG 150-1000
ISO 6743-6: L-CKD
DIN 51517 ч. 3 CLP
AGMA 9005-D94
Допуск:
Siemens/Flender

Hydromil Super L-HV

Бесцинковое масло Hydromil Super L-HV, производится из депарафинированных и гидрорафинированных минеральных масел глубокой очистки, получаемых путем переработки нефти. Масло содержит соответствующим образом подобранный комплекс беззольных присадок вязкостно-температурного, антикоррозионного, антиокислительного, смазочного, деэмульгирующего и противопенного действия. Безопасно в эксплуатации при контакте со сплавами цветных металлов, используемыми в конструкциях гидросистем. Гидравлическое масло Hydromil Super L-HV рекомендуется к применению в тяжелонагруженных системах передачи мощности, гидравлических приводных системах и системах управления строительного и горного оборудования, там, где необходимо масло с очень низкой зависимостью вязкости от температуры.

Рецептура масла обеспечивает:

- оптимальную защиту поверхностей смазываемых элементов,
- хорошие противопенные свойства,
- очень хорошее выделение воздуха,
- очень хорошие деэмульгирующие свойства,
- гидролитическую стабильность,
- низкую зависимость вязкости от рабочей температуры,
- стойкость к сдвигу вязкости во время работы,
- высокую фильтруемость,
- защиту от изнашивания и долговечность деталей смазываемых систем.

Спецификации, классификации:
ISO 3448: 32; 46; 68

ISO-L-HV
DIN 51524 ч. 3 HVLP, DIN 51517 ч. 3 CLP
Отвечают требованиям гидравлических насосов Vickers, Bosch Rexroth, Parker-Denison.

Hydromil L-HM

Гидравлическое масло Hydromil L-HM рекомендовано для тяжелонагруженных гидравлических приводных систем и систем управления. Масло содержит специально подобранный комплекс присадок антикоррозионного, антиокислительного, смазочного, деэмульгирующего и противопенного действия.

Гидравлическое масло Hydromil L-HM применяют в тяжелонагруженных системах переноса мощности, гидравлических приводных системах и системах управления.

Рецептура масла обеспечивает:

- оптимальную защиту поверхностей смазываемых элементов,
- хорошие противопенные свойства,
- хорошее выделение воздуха,
- очень хорошие деэмульгирующие свойства,
- гидролитическую стабильность,
- высокую фильтруемость,
- содержание в чистоте смазочных систем,
- защиту от изнашивания и долговечность деталей смазываемых систем.

Масло предназначено для смазывания:

- гидравлических приводных систем и систем управления,
- передач, гидропередач,
- управляющих механизмов,
- зубчатых насосов до 25 МПа,
- поршневых насосов до 35 МПа.

Спецификации, классификации:
ISO 3448: 15-150
ISO-L-HV
DIN 51524 ч. 3 HVLP
DIN 51517 ч. 3 CLP
Допуск:
Denison-Parker Hydraulic HF-0; HF-1; HF-2 (для классов вязкости VG 32; 46; 68)

Hydromil Super HLPD

Гидравлическое масло Hydromil Super HLPD применяется в тяжелонагруженных гидравлических приводных системах и системах управления, когда есть опасность контакта с влагой. Бесцинковое масло Hydromil Super HLPD применяется там, где существует опасность попадания влаги.

Рецептура масла обеспечивает:

- оптимальную защиту поверхностей смазываемых элементов,
- хорошие противопенные свойства,
- хорошее выделение воздуха,
- исключительную гидролитическую стабильность,
- высокую фильтруемость,

- содержание в чистоте смазочных систем благодаря специально разработанным детергирующе-диспергирующим свойствам масла, которые позволяют растворять большинство чужеродных для гидросистемы осадков и загрязнений, удерживая их в масле до фильтрования через неполнопоточный фильтр,
- защиту от изнашивания и долговечность деталей смазываемых систем.

Гидравлическое масло Hydromil Super HLPD может использоваться в ситуациях, когда в гидросистемах должны применяться масла с детергирующе-диспергирующими и сильными противоизносными свойствами. Масло Hydromil Super HLPD соответствует стандарту качества гидравлических масел L-HM и может применяться там, где производитель рекомендует класс L-HM и где есть опасность контакта с влагой.

Спецификации, классификации:
ISO 3448: VG 22-68
DIN 51524 ч. 2 HLPD, DIN 51517 ч. 3 CLP
Соответствует требованиям гидравлических насосов Vickers, Bosch Rexroth, Parker-Denison.

11. Заключение

Цель не всегда бывает достигнута, если при заключении контракта на поставку смазочных материалов мы принимаем во внимание только цены и сроки поставки. Во многих случаях анализ этих параметров одновременно начинает и заканчивает встречу. Покупка/продажа сервиса масел, напротив, является отправной точкой, от которой начинается знакомство с проблемами пользователя. Предлагаемые, исходя из имеющегося опыта, решения не только помогают сторонам наладить коммерческие связи, завязать хорошие отношения, но и дают перспективу повышения безопасности эксплуатации.

В общей стоимости повышения безопасности эксплуатации и обеспечения бесперебойной работы оборудования цена самого продукта становится менее существенной, и можно показать, какую дополнительную прибыль дает сокращение числа аварийных простоев, связанных с неправильным смазыванием дешевыми материалами.

На каждую машину, устройство, изделие, предлагаемые в продаже, можно за дополнительную плату приобрести продленную гарантию. Это же относится и к смазочным маслам. В рамках продления торгового контракта и гарантии правильной эксплуатации смазочных масел LOTOS Oil предлагает полный мониторинг их состояния в процессе эксплуатации, который представляет собой форму оценки эксплуатационного потенциала масла и способа эксплуатации оборудования, в котором оно используется.

Во многих случаях при продаже масел их поставщики, сервисы предлагают услугу с похожим названием, однако объем исследований масел очень ограничен и включает простые измерения основных свойств масел, таких как вязкость, температура воспламенения, содержание воды, кислотное и щелочное число.

Перечисленные основные свойства дают общее представление о степени загрязненности масла другими продуктами, но не дают полной информации о состоянии системы «масло-машина», о потенциале дальнейшей работы, информации, связанной с возможностью программирования эксплуатации.

Во многих случаях результаты исследований масел в эксплуатации соотносятся с состоянием свежего масла, что может склонить пользователя к принятию ошибочных решений, касающихся режима и частоты замены масла. В комментариях и исследованиях, как правило, отсутствуют анализы, дающие представление о поведении масла в оборудовании,

состоянии поверхностей и степени износа.

LOTOS Oil дает своим заказчикам, как и другим пользователям смазочных масел, возможность пользоваться полным мониторингом масла и оценкой состояния оборудования путем комплексного исследования свойств, включая замеры специфических свойств индустриальных масел, таких как эмульгирование и вспенивание. Масляный сервис LOTOS Oil предлагает также фильтрацию масла, спектрографическое определение содержания химических элементов, установление содержания в масле металлических продуктов износа в форме ферромагнитных частиц.

Такая форма исследования масла дает полное представление о вопросах безопасности смазки, отвечает на часто задаваемый механиком вопрос: образуются ли при работе масла в машине металлические частицы износа, и если да, то в каком количестве. Результаты исследований всегда соотносятся с состоянием машины. Оценка, которая основана на данных, полученных в ходе эксплуатации, может указывать на необходимость применения превентивных и профилактических мер для обеспечения бесперебойной работы оборудования.

Мониторинг масел, предлагаемый LOTOS Oil, является не искусством ради искусства, а материалом, помогающим выбрать метод эксплуатации, благодаря той информации, которую он дает. Услуга мониторинга является дополнением к контрактам на послепродажное обслуживание, которое можно сравнить с дополнительной гарантией. Стоимость услуги может засчитываться в счет торговых контрактов или оплачиваться отдельно и не составляет большой доли в цене.

Выбирайте наши продукты вместе с мониторингом масла и сопутствующей ему оценкой состояния оборудования.

Это обязательно принесет Вам результаты – дополнительно сэкономит время работы, сократит простои и снизит износ.

12. Об авторах

Славомир Пошеленжный

Выпускник механического факультета Краковского политехнического института. С самого начала профессионального пути связан с химической промышленностью, сначала как проектировщик, а впоследствии – исполнитель инвестиций. С 1989 по 1990 г. – исполнительный контракт на Ближнем Востоке. С 1992 г. – в B2B-торговле, сначала как инженер продаж, затем – руководитель продаж в отделе международного концерна и директор по экспорту. С 2003 г. сотрудничает с LOTOS Oil в качестве руководителя сервисного отдела, а затем руководителя отдела развития. Участвовал во внедрении линии технологических масел. Автор идеи и создатель сервиса масел в компании.

Марек Дембиньский

Окончил магистерский курс химии и технологии нефти и угля во Вроцлавском политехническом институте. С 2004 года в LOTOS Oil. Один из создателей и руководитель отдела сервиса масле, который выполняет мониторинг смазочных материалов по эксплуатации в Польше, а также на территории России, Чехии, Украины, Латвии, Литвы, Эстонии, Беларуси, Азербайджана, Узбекистана и Казахстана. Эксперт-диагност по маслам.

С 2007 года вместе с командой осуществляет постоянное обслуживание в сфере мониторинга изменений качества смазочных материалов (различных производителей) в процессе эксплуатации оборудования на многих промышленных предприятиях в Польше и за ее пределами.

Петр Немец

Окончил отделение химической технологии химического факультета Силезского политехнического института. В 2005 году защитил докторскую диссертацию на тему оценки пригодности продуктов химической модификации растительных масел для изготовления смазочных масел. С 2005 по 2006 год работал учителем химии в общеобразовательном лицее. С 2006 года работает в LOTOS Oil в бюро развития и сервиса масел, где занимается разработкой технологий, проектированием и внедрением новых продуктов, предназначенных для автомобильной отрасли, отвечает за техническое консультирование и тематические семинары в этой области. В течение нескольких лет участвует в работах Технической комиссии и Комиссии по контактам с OEM организации ATIEL (Европейской ассоциации производителей смазочных материалов).

Рафал Мирек

Окончил отделение технологии нефти и газа факультета химической инженерии и технологии Краковского политехнического института. Степень доктора получил на международном курсе на соискание докторской степени Института катализа и физикохимии поверхностей ПАН и Краковского политехнического института. Его докторская диссертация касалась дегидратации ферментативного этанола на цеолитовых адсорбентах. С 2005 по 2006 год связан с сектором исследований и развития международной фармацевтической компании. С 2006 года работает в LOTOS Oil в бюро развития и сервиса масел, где занимается разработкой технологий, проектированием и внедрением новых продуктов для промышленности. Отвечает за техническое консультирование и тематическое обучение. Является членом управляющего совета отдела по сертификации изделий Технического института воздушных войск и членом ELGI (European Lubricating Grease Institute).

13. Библиография

1. Cz. Kajdas, „Chemia i fizykochemia ropy naftowej", WNT, Warszawa 1979.
2. M. Hebda, A. Wachal, „Trybologia", WNT, Warszawa 1980.
3. A. Podniało, „Paliwa oleje i smary w ekologicznej eksploatacji", WNT, Warszawa 2002.
4. J. Surygała, „Ropa naftowa a środowisko przyrodnicze", Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001.
5. R. Czarny, „Smary plastyczne", WNT, Warszawa 2004.
6. Praca Zbiorowa – M. Taniewski, „Technologia chemiczna - surowce", Skrypt Uczelniany nr 2223, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
7. B. Posmyk, „Zakkum, kirkuk, ural….Rosyjska - nie znaczy gorsza, iracka wróci na instalacje?", Energia Gigawat nr 3, 2003.
8. E. Grzywa, J. Molenda, „Technologia podstawowych syntez organicznych", WNT, Warszawa 2000.
9. A. Dudek, „Oleje smarowe Rafinerii Gdańskiej", MET-PRESS, Gdańsk 1997.
10. J. Molenda, W. Swinarski, „Sekwencja zintegrowanych procesów wodorowych na licencji Chevron (Isocracing-Isodewaxing-Hydrofinishing) w produkcji wysokojakościowych olejów bazowych i rozpuszczalników wysokiej czystości" Nafta- Gaz, 2001.
11. S. Tokarska, R. Szpyrka, „Produkcja olejów II i III grupy w RN GLIMAR S.A", Warsztaty specjalistów, Kraków 2003.
12. T. F. Glenn, „Base stock groups. Now that's what I call quite good", Lubes'n'greases nr1, 2007.
13. S. Gryglewicz, „Syntetyczne oleje estrowe", Wiadomości Chemiczne nr 1-2, 2003.
14. S. Fiszer, U. Szałajko, „Oleje roślinne jako substytuty środków smarowych pochodzenia naftowego", Nafta-Gaz nr 3, 2000.
15. S. Płaza, „Fizykochemia procesów tribologicznych", Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 1997.
16. ISO 3448: 1992/Cor 1:1993 Industrial liquid lubricants – ISO viscosity classification.
17. ISO 6743-99: 2002 Lubricants, industrial oils and related products (class L) Classification, Part 99: General.
18. ISO 8681:1986 (PN-91/C-96200): Petroleum products and lubricants – Method of classification – Definition of classes.
19. CEI/IEC 61039: 1990 General classification of insulating liquids.
20. I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Środki Smarowe, 2006.
21. II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Środki Smarowe, 2008.
22. III Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Środki Smarowe, 2010.
23. F. Steinmec, „Oleje hydrauliczne dla nowoczesnych systemów hydraulicznych", ITN, Kraków.
24. W. Zwierzycki, „Oleje i smary przemysłowe", 1999.
25. U. J. Moller, „Hydraulic Fluids", Ullmann's Encyklopedia of Industrial Chem., Hamburg, 2003.
26. B. Paluszkiewicz, „Oleje hydrauliczne", CPN 1989.
27. Lubrizol, „Ready Reference for Hydraulic and Industrial Fluids", Ohio, 2007.
28. L.A. Toms, A. M. Toms, „Machinery Oil Analysis", Park Ridge 2008.
29. TAE, 16th International Colloquium Tribology, „Lubricants, Materials and Lubrication Engineering", Esslingen, 2008.
30. TAE, 17th International Colloquium Tribology, „Solving Friction and Wear Problems", Esslingen, 2010.
31. TAE, 18th International Colloquium Tribology, „Tribology – Industrial and Automotive Lubrication", Esslingen, 2012.
32. Infineum, Lubricating oil additive seminar, Milton Hill, 2011.

14. Практическая информация

Десятичные приставки и их сокращения

Приставка	Сокращение	Десятичная степень	Приставка	Сокращение	Десятичная степень
дека	да	101	деци	д	10-1
гекто	г	102	санти	с	10-2
кило	к	103	милли	м	10-3
мега	М	106	микро	мк	10-6
гига	Г	109	нано	н	10-9

Единицы измерения кинематической вязкости
1 мм²/с = 1 сСт
1 Стокс = 1 м²/с = 100 сСт

$$\text{Кинематическая вязкость} = \frac{\text{Динамическая вязкость (t)}}{\text{Плотность (t)}}$$

Единицы измерения динамической вязкости
1 сП = 1 мПа·с = 1* 10-3 кг/с·м
1 Па·с = 1 Н·с/м²

Единицы измерения давления
1 ат = 1 кГ/см² = 0.1 МПа = 1 бар = 136 мм рт. ст.
1 Па = 1 Н/м² = 1* 10-5 бар = 1 * 10-5 ат = 7.5 * I0-3 мм рт. ст.
1 мм рт. ст. = 1 Торр = 133.3 Па = 1.36 *10-3 ат
1 мбар = 100 Па

Единицы измерения температуры
tF= 1.8 tC + 32, где tF – температура в градусах Фаренгейта
tC= (tF-32)/1.8, где tC – температура в градусах Цельсия, н-р,
-4°F = -20°C
15°F = -10°C
32°F = 0°C
68°F = 20°C
100°F = 38°C
131°F = 55°C
140°F = 60°C

Единицы измерения массы
1 фунт (lb) = 0.454 кг = 16 унций (oz)
1 тонна метрическая / tonne (metric) = 1 Мг = 1000 кг
1 тонна короткая / ton (short) = 0.9072 Мг = 2000 фунтов (lb)
1 тонна длинная / ton (long / Imp.) = 1.016 Мг = 2240 фунтов (lb)

ppm массы
1 ppm масс. = 1 мг на кг
1 г на 1000 кг

1 ppm = 0,0001%
10 ppm = 0,001%
100 ppm = 0,01%
1000 ppm = 0,1%
10000 ppm = 1%

Единицы измерения объема
1 баррель = 159 литров = 42 американских галлона (US gallon)
1 американский галлон (US gallon) = 3.785 литра
1 галлон (Imp – английский) = 4.546 литра
1 американская унция / ounce (oz) = 30 мл

Единицы измерения длины
1 ярд (yd) = 0.914 м = 36 дюймов (in)
1 дюйм / inch (in или ") = 2.54 см
1 морская миля = 1.852 км
1 фут (ft или ') = 0.305 м
1 миля (mi) = 1.609 км

Единицы измерения мощности
1 кВт = 1.36 PS (л. с.)
1 л. с. (PS) = 0.736 кВт

Единицы измерения работы, энергии
1 Дж = 1 Нм = 1 Вт·с = 2.39 * 10-4 ккал = 2.778 * 10-7 кВт·ч
1 ккал = 1.16 * 103 кВт·ч = 4.19 кДж
1 кВт·ч = 860 ккал = 3.6* 106 Дж

Сравнение разных классов вязкости

°Engler-Grad, 50°C	Кинематическая вязкость мм²/с, 50°C	Кинематическая вязкость мм²/с, 40°C	ISO VG	Классификация SAE	Кинематическая вязкость мм²/с, 100°C
57	433	850			42
53	399	775			40
48	365	700	680		38
43	330	625			36
39	296	550			34
36	271	500	460	140	32
32	246	450			30
29	221	400			28
27	202	365			26
23	177	315	320		24
21	159	280			22
18	138	240	220	90	20
16	119	205		50	18
13	102	175			16
11	84	140	150	40	14
9	69	115		85W	12
7	53	85	100	30	10
5	38	60	68	80W 20	8
4	26	40	46	15W 20W	6
			32	75W	
2	17	20	22	10W 5W	4
			15		
1,6	7	10	10		2

Классы чистоты масел

Класс			Максимальное число частиц в 100 мл гидравлической жидкости		
NAS	5 ÷ 15 мкм	15 ÷ 25 мкм	25 ÷ 50 мкм	50 ÷ 100 мкм	100 мкм
1	2	3	4	5	6
00	125	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	89	16	3	1
2	1 000	178	32	6	1
3	2 000	356	63	11	2
4	4 000	712	126	22	4
5	8 000	1 425	253	45	8
6	16 000	2 850	506	90	16
7	32 000	5 700	1 012	180	32
8	64 000	11 400	2 025	360	64
9	128 000	22 800	4 050	720	128
10	256 000	45 600	8 100	1 440	256
11	512 000	91 200	16 200	2 880	512
12	1 024 000	182 400	32 400	5 760	1 024

Число частиц на 100 мл						Класс чистоты по ISO 4406
> 2 мкм		> 5 мкм		> 15 мкм		
от	до	от	до	от	до	
2 000 000	4 000 000	500 000	1 000 000	64 000	130 000	22/20/7
1 000 000	2 000 000	250 000	500 000	32 000	64 000	21/19/16
500 000	1 000 000	130 000	250 000	16 000	32 000	20/18/15
1 000 000	2 000 000	250 000	500 000	32 000	64 000	19/17/14
130 000	250 000	32 000	64 000	4 000	8 000	18/16/13
64 000	130 000	16 000	32 000	2 000	4 000	17/15/12
32 000	64 000	8 000	16 000	1 000	2 000	16/14/11
16 000	32 000	4 000	8 000	500	1 000	15/13/10
8 000	16 000	2 000	4 000	250	500	14/12/9
4 000	8 000	1 000	2 000	130	250	13/11/8
2 000	4 000	500	1 000	64	130	12/10/7
1 000	2 000	250	500	32	64	11/9/6
1 000	2 000	250	500	32	64	11/9/6
500	1 000	130	250	16	32	10/8/5
250	500	64	130	8	16	9/7/4
130	250	32	64	4	8	8/6/3
64	130	16	32	2	4	7/5/2
32	64	8	16	1	2	6/4/1
16	32	4	8	1	2	5/3/1
8	16	2	4	0,5	1	4/2/0,9
4	8	1	2	0,25	0,5	3/1/0,9

Общая классификация индустриальных масел ISO 6743

Буквенный код	Область применения
A	Открытые смазочные системы
B	Смазывание литейных форм
C	Промышленные зубчатые передачи
D	Компрессоры (включая холодильные и для вакуумных насосов)
E	Промышленные двигатели внутреннего сгорания
F	Шпиндели, подшипники и сопряженные с ними соединения
Г	Направляющие скольжения
H	Гидравлические системы
M	Механическая обработка металлов
N	Электроизоляция
P	Пневматические системы
Q	Системы терморегулирования
R	Временная защита от коррозии
T	Турбины
U	Термическая обработка
X	Системы, требующие применения пластичных смазок
Y	Прочие области применения
Z	Цилиндры паровых машин

Применение нефтепродуктов ISO DP 8681:1986

Класс	Применение продукта
F Fuels	Топлива
S Solvents	Растворители
L Lubricants	Смазочные материалы
W Wax	Парафины
B Bitumens	Битумы

Классификация смазочных материалов для гидравлических систем по ISO/DIS 6743/4 и PN-91C/-96057/1

Код	Подгруппа (основная область применения)
HH	Простые рафинированные минеральные масла
HL	Как HH+антикоррозионные и антиокислительные присадки
HM	Как HL+противоизносные присадки (для тяжелонагруженных систем)
HR	Как HL+вязкостно-температурные присадки
HV	Как HM+вязкостно-температурные присадки (для строительной и водной техники)
HG	Как HM+присадки типа antistick-slip
HS	Синтетические жидкости без требований пожаробезопасности
HF	Трудновоспламеняемые (пожаробезопасные) жидкости
HA	Жидкости для автоматических передач
HN	Жидкости для сцеплений и преобразователей

HF		Трудновоспламеняемые (пожаробезопасные) жидкости
HF	AE	Эмульсии масла в воде (более 80% воды)
HF	AS	Водные растворы химических веществ
HF	B	Эмульсия воды в масле.
HF	C	Водные растворы полимеров (менее 80% воды)
HF	DR	Безводные сложные эфиры фосфорной кислоты (токсичность)
HF	DS	Хлорпроизводные углеводородов (токсичность)
HF	DT	Смешанные синтетические жидкости: HFDR+HFDS
HF	DU	Безводные синтетические жидкости различных видов

Классификация по вязкости ISO 3448

ISO VG Класс вязкости	Средняя вязкость сСт 40 °C	Диапазон кинематической вязкости сСт 40 °C	
2	2,2	1,98	2,42
3	3,2	2,88	3,52
5	4,6	4,14	5,06
7	6,8	6,12	7,48
10	10	9	11
15	15	13,5	16,5
22	22	19,8	24,2
32	32	28,8	35,2
46	46	41,2	50,6
68	68	61,2	74,8
100	100	90	110
150	150	135	165
220	220	198	242
320	360	288	352
460	460	414	506
680	680	612	748
1000	1000	900	1100
1500	1500	1350	1650

15. Заметки

Содержание

Содержание

В публикации всесторонне и глубоко представлены вопросы производства, эксплуатации и сервиса смазочных материалов. Оговорены их систематизация и классификация, а также основные физико-химические параметры, значимые с точки зрения их эксплуатации. Многолетний опыт работы авторов в сервисе масел и прекрасное знание проблем, возникающих в процессе эксплуатации масел, делает этот учебник необычайно ценным для пользователей машин и механизмов, имеющих дело со смазочными материалами. Настоящая работа – это хорошее подспорье для пользователей, которое поможет им пополнить знания в области правильной и безопасной эксплуатации современных смазочных материалов.

Д-р инж. Марек Кулажиньский
Кафедра химии и технологии топлив

LOTOS Oil S.A.
ul. Elbląska 135, 80-718 Gdańsk, Польша
ул. Эльблонска, 135, 80-718, г. Гданьск, Польша
e-mail: info@lotosoil.pl, www.lotos.pl
Справочная:
тел. + 48 801 345 678
тел. + 48 58 326 43 00 – для сотовых телефонов и международных звонков
факс + 48 58 308 84 18