

§ 12.2. Смазка цилиндров

§ 12.2.1. Цилиндровые масла, свойства, рекомендации

Цилиндровые масла для малооборотных дизелей в дополнение к ранее рассмотренным качественным показателям должны обладать еще и рядом специфических свойств:

- ▶ высоким резервом щелочности для нейтрализации образующихся при сгорании сернистых топлив кислот, и, поскольку масло впрыскивается на поверхность цилиндра малыми порциями, его щелочное свойство должно быть особенно эффективным;

- ▶ его детергентно-диспергирующие свойства должны быть ориентированы на предотвращение отложений продуктов неполного сгорания в зоне поршневых колец и в продувочно-выпускных окнах;

- ▶ важным свойством является способность к растеканию, с тем чтобы масло, распределяясь по цилиндру, покрывало всю его поверхность;

- ▶ его липкость (маслянистость) должна быть достаточно высокой, чтобы при продувке цилиндра оно не сдувалось с поверхности;

- ▶ вязкостные свойства масла должны обеспечивать сохранение масляной пленки в зоне действия поршневых колец, особенно там, где действуют высокие температуры и давления;

- ▶ противоизносные свойства должны предотвращать образование в цилиндропоршневой группе задиров.

Рекомендации.

В общем случае при выборе масел, предназначенных для смазки цилиндров, следует учитывать рекомендации завода-изготовителя как в отношении вязкости, так и остальных рабочих характеристик, а также руководствоваться категориями API или ASEA.

Особое внимание нужно обращать на сочетание щелочности масла и сернистости топлива. Для цилиндровых масел малооборотных дизелей рекомендуемые пределы щелочности: при $S < 1,5\%$ ОЩЧ = 30-40, при $S > 1,5-2\%$ ОЩЧ = 60-70. При особо высоком содержании серы - свыше 3,5% - желательно переходить на масла с ОЩЧ = 100.

Если опыт эксплуатации показывает, что щелочность применяемого масла недостаточна, этот недостаток можно компенсировать увеличением подачи масла на смазку цилиндров.

Для среднеоборотных главных дизелей, работающих на средневязких и тяжелых топливах при $S < 1,5\%$ ОЩЧ = 20-30, при $S > 1,5\%$ ОЩЧ = 30-40.

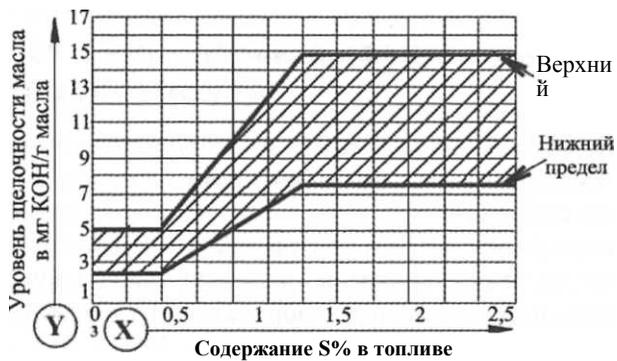


Рис. 12.1. Выбор щелочности масла для высокооборотных двигателей

При определении щелочности масел для быстроходных форсированных дизелей можно воспользоваться рекомендацией фирмы «Катерпиллар» - график рис. 12.1.

§ 12.2.2. Организация смазки цилиндров крещкопфных дизелей

В смазочной системе крещкопфного дизеля (рис. 12.2) цилиндрическое масло хранится в цистерне запаса, откуда через фильтр подается электроприводным или ручным насосом в расходную цистерну, являющуюся одновременно и напорной. Эта цистерна снабжена указателями верхнего и нижнего (сигнализирующего) уровней. Из цистерны масло самотеком поступает на пополнение навешенных на дизель насосов (лубрикаторов), которые обеспечивают строго дозированную подачу масла на поверхность цилиндров через штуцера, ввернутые в отверстия во втулках.

Подаваемое масло расходуется на смазывание рабочих поверхностей цилиндров, поршневых колец, поршней. Масло, распределяемое поршнем тонкой пленкой по поверхности цилиндра, выполняя функцию разделения трущихся поверхностей, одновременно нагревается, подвергается воздействию горячих агрессивных продуктов сгорания и воздуха, больших тепловых потоков со стороны поршня. В результате окислительных процессов в нем образуются органические кислоты, масло насыщается неорганическими кислотами, сажей и пр. Большая часть масла, особенно находящаяся на верхней поверхности цилиндра, испаряется. Пары масла диффундируют в воздух и сгорают либо уносятся с выпускными газами в выпускной тракт. Остальная часть

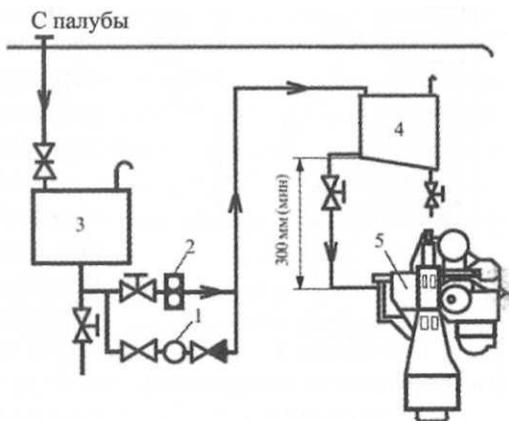


Рис. 12.2. Система подачи цилиндрического масла к двигателю: 1 - ручной насос; 2 - электроприводной насос; 3 и 4 - цистерны запасная и расходная; 5 - дизель

масла, ставшая более вязкой и вобравшая в себя продукты старения, частично сбрасывается поршневыми кольцами в подпоршневые полости, частично остается на стенках цилиндра и поршней, превращаясь в лаки и нагары.

На толщину масляной пленки на поверхности цилиндра оказывают влияние:

- количество подаваемого лубрикаторами масла и способ подвода (расположение масляных штуцеров по высоте и их количество);
- скорость движения колец вдоль поверхности цилиндра, зависящая от скорости движения поршня и частоты вращения двигателя;
- радиальное давление колец на втулку, определяемое давлением в цилиндре (нагрузкой двигателя) и в заколочном пространстве, в свою очередь, зависящее от величины зазоров в кепках и количества образовавшегося в них нагара, упругости колец;
- качество рабочей поверхности цилиндра (наличие шероховатости или зеркальных поверхностей), от которого зависит удержание масла на ней;
- свойства масла - вязкость, маслянистость (способность удерживаться на смазываемых поверхностях), термическая стабильность и пр.;
- температуры смазываемых поверхностей втулки, поршня в зоне поршневых канавок.

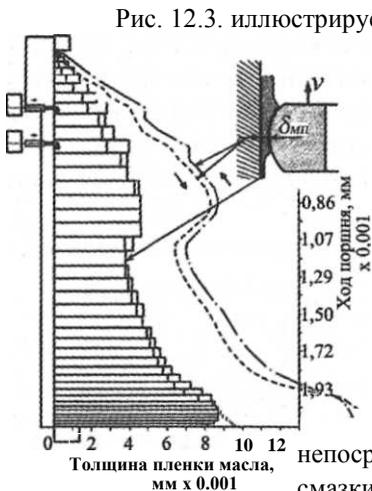


Рис. 12.3. иллюстрирует распределение масла по поверхности зеркала цилиндра. В правой части рисунка показано взаиморасположение поршневого кольца, части поверхности втулки цилиндра и сформированного масляного слоя между ними. Рабочая поверхность кольца имеет бочкообразную форму, которую оно приобретает при истирании в процессе его приработки.

Бочкообразность кольца способствует образованию между ним и втулкой масляного клина, отжимающего кольцо от поверхности цилиндра и предотвращающего их непосредственное соприкосновение. Такой характер смазки называется *гидродинамическим*, и при нормальном состоянии поршневых колец и достаточном количестве масла он распространяется на большую часть хода поршня. Об этом свидетельствует левая часть рисунка. Здесь представлены кривые, показывающие толщину масля-

Рис. 12.3. Формирование пленки масла и ее распределение по поверхности цилиндра

ной пленки δ на зеркале цилиндра в зависимости от положения поршня по высоте и направления его движения - вверх или вниз.

*Минимальная толщина масляного слоя находится в районе ВМТ, этому способствуют высокие температуры в этой части цилиндра, под воздействием которых происходит интенсивное испарение и выгорание масла. В районе ВМТ скорость поршня равна или близка к нулю, что отрицательно сказывается на формировании масляного клина. Если же учесть, что под действием существующих в этот период в цилиндре высоких давлений сила давления колец и в первую очередь верхнего кольца на пленку масла существенно увеличивается. Масло выдавливается из-под кольца, и в итоге действия всех перечисленных факторов смазка в зоне ВМТ приближается к *граничной или полусухой, при которой износ естественно увеличивается и этим объясняются наиболее высокие износы в этой зоне.**

В крейцкопфных двигателях, а также и в некоторых тронковых масло на смазку цилиндров поступает от лубрикаторов по трубкам и штуцерам, ввернутым в отверстия во втулках цилиндров. Далее оно подхватывается кольцами поршня и быстро разносится вверх и вниз по цилиндру, одновременно медленно растекаясь по окружности. Этим объясняется, что по поверхности цилиндра масло распределяется неравномерно. В вертикальных плоскостях расположения штуцеров отмечается избыток масла, а в плоскостях, наиболее удаленных от них (на середине расстояния между штуцерами), обычно испытывается недостаток масла.

Нельзя не учитывать и того, что по мере распространения масла по поверхности цилиндра оно, вступая в реакцию со сконденсировавшейся на ней серной кислотой, на своем пути теряет часть щелочности. Поэтому в удаленных зонах может ощущаться как недостаток масла, так и недостаточный резерв оставшихся в нем щелочных соединений, что приводит к усилению коррозионного износа в отмеченных зонах. Избежать повышенных износов можно как увеличением подачи масла, так и использованием масла с большим резервом щелочности.

§ 12.2.3. Подача масла на смазку цилиндров, дозировка подачи, расход масел

Для создания и поддержания масляной пленки на поверхности цилиндра, необходимой для снижения трения и износа ЦПГ, подача масла осуществляется либо принудительно лубрикаторами (крейцкопфные двигатели), либо разбрызгиванием масла, вытекающего из подшипников вращающегося кривошипного механизма (тронковые двигатели). Необходимым условием сохранения масляной пленки является требование,

чтобы количество возмещаемого масла G_M покрывало его расход $G_{MP} = G_{ИСП} + G_{КС} + G_K$, обусловленный:

испарением и сгоранием $G_{ИСП}$ - забрасыванием масла поршневыми кольцами в камеру сгорания $C_{кc}$ (это масло частично сгорает, переходит в нагары, уносится с выхлопными газами);
- сбросом частично окислившегося масла в картер G_K (тронковые двигатели) или в подпоршневые полости и в выпускные окна, где оно откладывается в виде нагара.

Если подача масла на стенки цилиндра недостаточна ($G_M < G_{MP}$), то поддержание масляной пленки необходимой толщины становится невозможным, режим трения из жидкостного может перейти в граничный или режим сухого трения.

Величина подачи масла на стенки цилиндров (дозировка подачи) задается величиной удельного расхода, представляющего собой отношение часового расхода масла G_M мощности двигателя

$$g_M = \frac{G_M}{N_e}, \quad \text{г/(кВтч)}.$$

Двигателестроительные фирмы, основываясь на опыте эксплуатации, особенностях конструкции, площади смазываемых поверхностей и уровне форсировки рабочего процесса, рекомендуют придерживаться следующих норм.

Расход цилиндрических масел в крейцкопфных двигателях.

Двигатели с относительно невысокой форсировкой:

V&W VTBF - 0,54-0,8 г/(кВтч);

Sulzer RD - 0,8 г/(кВтч);

MAN KZ - 1,0-1,4 г/(кВтч).

Современные высокофорсированные длинноходные двигатели:

MAN-V&W, RTA- 1,0-1,2 г/(кВтч).

Расход циркуляционного (системного) масла:

в крейцкопфных двигателях - 0,11-0,14 г/(кВтч);

в тронковых двигателях - 1,4-2,5 г/(кВтч).

Наличие существенно большего расхода масла у тронковых двигателей объясняется следующими обстоятельствами. В тронковых двигателях циркуляционное масло используется не только для смазки элементов группы движения, но и для смазки цилиндров. Количество забрасываемого на них масла практически нерегулируемо, и функции регулятора количества остающегося на стенках масла выполняют маслосъемные кольца, эффективность работы которых находится в прямой зависимости от их износа. В норму расхода системных масел включены и потери масла на долив, составляющие в тронковых двигателях значительную величину. По

мере истощения присадок системное масло тронковых машин приходится периодически заменять, и этот расход нужно приплюсовывать к суммарным расходам.

При сопоставлении расходов масла крейцкопфных и тронковых двигателей нужно также учитывать и такое важное обстоятельство, как отсутствие необходимости в смене циркуляционных масел в крейцкопфных двигателях. Находящееся в них системное масло при должной организации контроля и очистки может работать практически неограниченное время. Расход цилиндрического масла в этих двигателях контролируем и может при необходимости быть изменен в желаемых пределах путем регулировки подачи лубрикаторов.

Рекомендуемые фирмами значения подач цилиндрического масла следует использовать в качестве отправной базы. В зависимости от условий эксплуатации, нагрузки и частоты вращения, сорта используемого топлива и масла можно уходить как в сторону ее уменьшения, так и увеличения. Решение должно приниматься на основе опыта и периодически проводимой оценки состояния ЦПГ путем осмотра через продувочные окна или смотровые лючки поверхностей цилиндра, поршня и поршневых колец.

Следует также учитывать, что ОЩЧ масла и дозировка подачи взаимозависимы. В тех случаях, когда щелочность масла недостаточна и превалирует коррозионный износ цилиндров, недостаток щелочности может быть компенсирован увеличением подачи, но до определенных пределов, так как излишне высокая подача приводит к интенсивному росту нагара на головках поршней. При наличии большого резерва щелочности масла подача может уменьшаться, но и здесь нужно учитывать, что с определенного момента недостаток масла на зеркале цилиндра может спровоцировать развитие абразивного износа.

Индикатором наличия абразивного износа служит содержание железа в стоках масла из подпоршневых полостей, наличие которого устанавливается путем оценки магнитной проводимости пробы масла либо спектральным анализом.

Индикатором наличия коррозионного износа служит величина остаточной щелочности стоков масла из подпоршневых полостей. Щелочность используемого масла считается достаточной, если его остаточная щелочность находится на уровне 10-15 мг КОН/г масла.

В целях уменьшения износов ЦПГ при пусках и на маневренных режимах рекомендуется прибегать к увеличению подачи лубрикаторов на 50%. Увеличение подачи рекомендуется также при появлении в цилиндрах признаков повышенных износов, задиров и пр.

Чрезмерно высокие подачи приводят к замасливанию цилиндра, увеличению нагароотложений на поршне, в зоне колец, на выхлопных окнах и сбросу большого количества масла в подпоршневые полости, что, в свою очередь, нередко приводит к возгоранию масла в них. Также увеличивается заброс несгоревшего масла в турбокомпрессоры, приводящий к загрязнению проточной части турбин и снижению давлений наддува. Нужно также не забывать, что двигатель будет работать с неоправданно большим расходом масла. Поэтому обычно фирмы рекомендуют с переходом на режимы пониженных оборотов уменьшать удельный расход пропорционально уменьшению среднего эффективного давления p_e .

В тронковых двигателях «замасливание» цилиндров и вытекающие отсюда вышеперечисленные последствия происходят вследствие износа маслосъемных колец, износа (овализации) цилиндров, износа поршней и в первую очередь износа кепов поршневых колец и самих компрессионных колец.

Виды и причины износа цилиндропоршневой группы двигателей изложены в I томе учебника.

§ 12.2.4. Обкатка цилиндропоршневой группы

Обкатка цилиндропоршневой группы двигателей включает три стадии.

Первая стадия, в ее задачи входит:

- достигнуть достаточно эффективного уплотнения цилиндра поршневыми кольцами;
- устранить точечный или локальный контакт колец с цилиндром, обеспечить им возможность выдерживать высокие нагрузки со стороны газов без риска их поломки;
- достигнуть условий, при которых на большей части хода поршня будет сохраняться режим жидкостной смазки без риска возникновения задиров.

Опыт показывает, что в новых двигателях достаточно эффективное уплотнение цилиндров достигается в течение 20 часов - это нормальная продолжительность первой стадии приработки на стенде завода.

Вторая стадия обкатки состоит в достижении бочкообразной формы рабочей поверхности колец. Верхний участок кривизны помогает формированию масляного клина на поверхности цилиндра при движении поршня вверх, а нижний - формированию клина при движении вниз. На участке наибольшего радиуса кривизны происходит наибольшее сжатие масляной пленки. Подобная бочкообразная форма рабочей поверхности кольца приобретает в процессе ее истирания, так как кольцо при движении

вверх и вниз приобретает угловые смещения в канавке и износу подвергаются то верхняя, то нижняя кромки.

Третья стадия обкатки заключается в создании микрорельефа поверхности цилиндра, при котором достигается гладкая и одновременно шероховатая поверхность цилиндра, способствующая удержанию масла на ней. Достигается это созданием при обкатке условий, провоцирующих коррозионный, но контролируемый во времени износ.

Следует отметить, что приобретение кольцами бочкообразной формы происходит быстрее, чем придание поверхности цилиндра необходимой микроструктуры. Поэтому продолжительность третьей стадии может оказаться значительно большей.

В целях увеличения скорости обкатки и сокращения ее продолжительности прибегают к использованию в двигателе сернистого топлива и низкощелочного масла (ОЩЧ = 5-15 мг КОН/г.). На протяжении всей обкатки рекомендуется поддерживать увеличенную подачу масла лубрикаторами и переходить на нормальную подачу лишь после завершения всех трех этапов обкатки.

Вторая и третья ступени обкатки, естественно, не укладываются в период заводской обкатки и продолжают после сдачи судна в эксплуатацию. Исходя из экономических соображений, после сдачи судна в эксплуатацию допускается использование тяжелых сернистых топлив ($S = 2-2,5\%$) и соответственно высоко-щелочных масел, что, конечно, сказывается на снижении скорости изнашивания и увеличении времени обкатки.

Фирма «МАН-Бурмейстер и Вайн» применительно к двигателям последних моделей считает, что обкатка завершается лишь по прошествии 1000-1500 часов работы. Однако и тогда не исключается необходимость периодического контроля состояния рабочих поверхностей поршневых колец и цилиндров (по прибытии в порт), и лишь после достижения ими заданной формы и состояния поверхностей (без следов заполировывания и наличие на них масла) можно принимать окончательное решение о завершении обкатки. Только тогда можно переходить с увеличенной подачи масла на смазку цилиндров на рекомендованную фирмой для нормальной эксплуатации.

Ряд фирм, производителей колец, оставляет на их рабочей поверхности следы токарной обработки. Это существенно облегчает решение задачи оценки конца обкатки. Исчезновение следов обработки как по высоте кольца, так и по его окружности принимается за признак конца обкатки.

Перечисленные выше рекомендации могут быть распространены и на режимы обкатки после замены поршневых колец или втулок цилиндров. В последних случаях рекомендуется переходить на использование малощелочного масла (BP рекомендует для этой цели использовать масло

CL155, имеющее щелочность 15 мг КОН) и увеличенную его подачу при одновременном снижении нагрузки (надо лишь в тех цилиндрах, в которых эта замена осуществлена). Продолжительность работы на этом масле фирмой ВР рекомендуется 24-18 часов. При этом полезно снизить температурный режим в системе охлаждения. Это поможет спровоцировать конденсацию серной кислоты и тем самым ускорить создание пористой структуры рабочей поверхности цилиндра. Снижения скорости износа можно также достичь при вводе в топливо специальной присадки - ВР Running-in Compound, которая при сгорании образует мелкий абразив, увеличивающий скорость изнашивания ЦПГ.

Снижения подачи масла на смазку цилиндра с целью ускорения обкатки следует категорически избегать, так как это может привести к утонению и разрушению слоя масла и появлению на отдельных участках задиров.

Литература

Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том 2. / И.В.Возницкий, А.С.Пунда – М.:МОРКНИГА, 2010.- 382 с. Стр. 323-332