

НОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В СОЗДАНИИ СМАЗОК ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ (материалы конгресса CIMAC-2016)

Этот выпуск информационного раздела посвящен новым тенденциям в создании смазок для дизелей, которые связаны, главным образом, с ограничением массового содержания серы в топливе (не более 0,1 %) для судов, работающих в «зонах регулируемых выбросов» (ЕСА). Учитывая расширение зон ЕСА, можно ожидать существенного увеличения доли малосернистых дистиллятных топлив и смазочных масел для судовых дизелей.

В докладе фирмы Chevron Oronite рассматриваются варианты альтернативных загустителей смазки, используемых для регулирования вязкости судовых смазочных масел. Разработанная фирмой новая присадка для тронковых двигателей обеспечивает эффективную очистку деталей от маслянистых отложений, высокую чистоту поверхности поршня, увеличение интервала смены масла, а также существенное снижение потребности в высоковязком цилиндровом масле, которое становится все менее доступным.

В докладе фирмы MAN B&W отмечается, что до недавнего времени конструкция судовых

крейцкопфных двигателей и состав цилиндровых масел были оптимизированы для работы на тяжелых топливах (НФО) с большим содержанием серы. К цилиндрическому маслу добавлялись щелочные присадки с целью предотвратить коррозию деталей камеры сгорания.

Необходимость в подобных присадках исчезает при переходе на топлива со сверхнизким содержанием серы (ULSFO), сжиженный природный газ (LNG), метанол, этан и нефтяной газ (LPG), поскольку в этом случае количество образующейся серной кислоты пренебрежимо мало. При этом неиспользованная часть щелочной присадки образует на стенках камеры сгорания отложения, препятствующие образованию масляного слоя, снижающие подвижность поршневых колец, что может привести к возникновению задиров. Подобные риски могут быть снижены за применение новых цилиндровых масел. Приведены первые результаты тестирования таких масел в лабораторных и эксплуатационных условиях.

Перевод выполнен к.т.н. Г. Мельником

ОСНОВЫ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ НОВОГО СМАЗОЧНОГО ПРОДУКТА

*W.P.A. van Houten, Rik T.C. Cleophas,
Chevron Oronite*

Реферат

Масла для тронковых судовых дизелей (ТРЕО — Marine Trunk Piston Engine Oils) — одна из наиболее динамично развивающихся отраслей нефтехимической промышленности. К числу важнейших направлений развития в данной области можно отнести все более интенсивное использование дистиллятных топлив в сочетании с базовыми маслами группы II API, увеличение интервала между заменами масла и снижение удельного расхода масла. При создании новых продуктов, соответствующих перечисленным выше требованиям, ограничиться лабораторными испытаниями невозможно. Для надежного обеспечения заданных технических параметров необходимы испытания созданных продуктов в реальных эксплуатационных условиях.

С 1 января 2015 г. для судов, работающих в «зонах регулируемых выбросов» (ЕСА) вступило в силу ограничение на массовое содержание серы в топливе — не более 0,1 %. В настоящий момент в число законодательно установленных ЕСА входят Балтийское и Северное моря,

побережье Северной Америки и относящаяся к США часть Карибского моря, однако ожидается, что со временем число таких зон будет расти. Учитывая планируемый рост количества ЕСА, можно ожидать существенного увеличения доли малосернистых дистиллятных топлив судового назначения и смазочных масел, которые будут применяться в дизелях, использующих такие топлива [4], что повлечет за собой соответствующие изменения конъюнктуры на рынке базовых масел. На протяжении десятилетий тяжелое дистиллятное масло группы I (API group I) оставалось основным продуктом для судовых ДВС. Однако в последнее время, по мере вытеснения ректификационных установок, вырабатывающих базовое масло группы I, новыми, более эффективными установками, вырабатывающими тяжелое дистиллятное масло группы II, их использование значительно возросло. В результате снижения выпуска тяжелое дистиллятное масло группы I брайтсток (высоковязкое цилиндрическое масло) становится все менее доступным. Это порождает необходимость в альтернативных загустителях смазки, используемых для регулирования вязкости судовых смазочных масел.

Компанией «Chevron Oronite» разработана технология производства присадки ТРЕО для

двигателей, работающих на топливах с массовым содержанием серы менее 0,1 %. Эта присадка обеспечивает:

- чистоту поверхности поршня;
- очистку деталей ЦПГ от маслянистых отложений;
- управление загустеванием масла;
- увеличение интервала смены масла;
- увеличение диапазона применимости;
- существенное снижение потребности в брайтстоке.

Для выбора наиболее перспективных присадок и технологии их производства была разработана схема лабораторных скрининг-тестов. Лучшие отобранные образцы прошли испытания на лабораторных дизельных стендах с целью сокращения списка вариантов. Оставшиеся после отбора варианты были поставлены на испытания в местах эксплуатации для подтверждения достигнутых показателей в эксплуатационных условиях.

Выяснилось, что лабораторные скрининг-тесты дают достаточно ценную информацию для выбора наиболее перспективных присадок и технологии их производства. Однако на практике встречаются варианты, которые выглядят хорошо в лабораторных условиях, но результаты стендовых и эксплуатационных испытаний оказываются не удовлетворительными. Поэтому испытания на дизельном стенде и в эксплуатационных условиях совершенно необходимы для того, чтобы конечный пользователь получил масла нужного качества.

Введение

Лидерство «Chevron Oronite» в области производства масел для судовых дизелей подтверждено почти 100-летним опытом и знаниями, полученными в результате сотрудничества с основными изготовителями двигателей, что позволяет обеспечить заказчиков продуктами высшего мирового уровня.

Как следует из настоящего доклада, при создании нового продукта нельзя полагаться лишь на лабораторные испытания, поскольку при таком подходе есть большая вероятность получения ложных результатов, как положительных, так и отрицательных. Ложноотрицательные результаты лабораторных испытаний могут приводить к упущенным возможностям при оптимизации соотношения цена–качество, тогда как ложноположительные результаты, не подтвержденные результатами эксплуатационных испытаний, могут в конечном итоге нанести конечному пользователю серьезный ущерб.

Предельно допустимое содержание серы в дистиллятных топливах

С 1 января 2015 г. для судов, работающих в «зонах регулируемых выбросов» (ЕСА), вступило

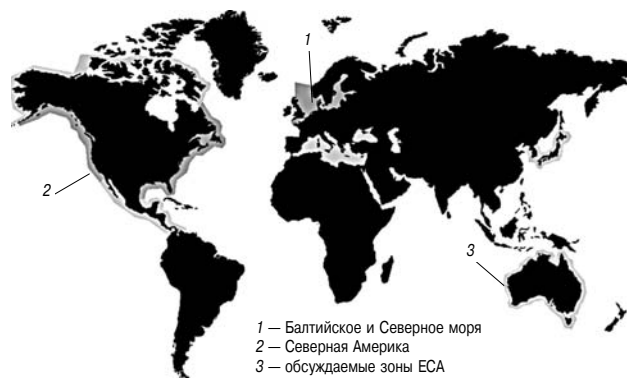


Рис. 1. Карта зон регулируемых выбросов [1–3]

в силу ограничение на содержание серы в топливе (и соответственно, выбросах) — не более 0,1 % по массе. В настоящий момент в число законодательно установленных ЕСА входят Балтийское и Северное моря, североамериканское побережье и относящаяся к США часть Карибского моря. Со временем число таких зон войдут Гонконг, Средиземное море, Австралия, Китай и Мексика [2, 3]. Учитывая ожидаемое увеличение числа ЕСА, использование малосернистых дистиллятных топлив и смазочных масел, позволяющих двигателю работать на таких топливах, в ближайшем будущем может существенно вырасти [4]. Двухтактные судовые дизели постепенно переходят с мазута (HFO — Heavy Fuel Oil) на дистилляты [5], требующие меньшей степени нейтрализации серной кислоты. Для четырехтактных судовых дизелей также назревает необходимость подобного перехода. При этом дистиллятные топлива содержат меньше асфальтенов (как правило, они вообще отсутствуют). Качество масел ТРЕО, предназначенных для двигателей, работающих на мазуте, определяется, главным образом, их способностью справляться с асфальтенами. В то же время качество ТРЕО, предназначенных для двигателей, работающих на дистиллятных топливах, определяется, в первую очередь, их способностью регулировать такие процессы, как формирование маслянистых отложений, термическая и окислительная деградация масла, а также сажеобразование.

Базовые масла группы II

Поскольку ожидаются изменения в номенклатуре потребляемых топлив, то, очевидно, будут продолжаться и соответствующие изменения в номенклатуре базовых масел [6]. В последние годы общее количество базовых масел группы II API существенно выросло с вводом в действие новых мощностей по их выпуску в США, странах Европы, Азии и Ближнего Востока. Рост выпуска, наряду с использованием более эффективных ректификационных установок, привел к снижению ценовой разницы между базовыми маслами

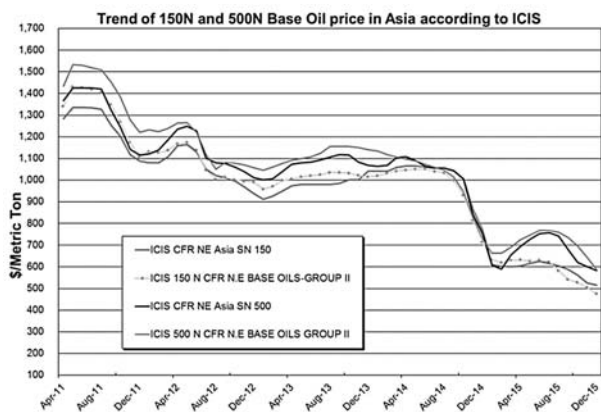


Рис. 2. Тренд изменения стоимости базовых масел 150N и 500N в Азии по сравнению с маслами группы II [8]

группы II API и базовыми маслами группы I API (рис. 2), что привело к снижению числа заводов, производящих базовые масла группы I API [7].

Тяжелое нейтральное базовое масло группы I API на протяжении десятилетий было базовым маслом для судовых двигателей, однако в последнее время оно становилось все менее доступным. Этот фактор, а также снижение стоимости базовых масел группы II привели к значительному увеличению спроса на базовые масла этой группы [4–6]. Наряду с сокращением производства тяжелого нейтрального базового масла группы I API, происходит быстрое сокращение производства брайтстока группы I API [9]. Поскольку брайтсток играет важную роль в качестве загустителя масла для судовых двигателей, появилась необходимость в новых загустителях для регулирования вязкости судовых масел.

Создание продукта

Для того, чтобы должным образом подготовиться к изменениям рыночной конъюнктуры, нужен новый продукт, при создании которого в качестве первого шага обычно проводятся всесторонние лабораторные испытания. По результатам испытаний выбираются варианты продукта с лучшими показателями, которые затем подвергаются испытаниям, сначала — на дизельных стендах, затем — на объектах. Результаты правильно спланированных лабораторных испытаний должны коррелировать с результатами последующих эксплуатационных испытаний, которые в определенной степени должны быть предсказуемы с учетом результатов лабораторных испытаний. Однако подобная корреляция может считаться надежной лишь при нахождении рабочих условий в определенном диапазоне, одинаковом для обоих случаев. При нарушении этого условия предсказанный результат может стать недостоверным, поэтому трудно предсказать поведение продукта в условиях эксплуатации только

на основании данных, полученных при лабораторных испытаниях. При подобном подходе возможны два нежелательных варианта прогноза:

➤ ложноположительный: выбранный по результатам лабораторных испытаний образец в условиях эксплуатации ведет себя хуже, чем ожидалось;

➤ ложноотрицательный: выбранный образец незаслуженно отбраковывается из-за плохих результатов лабораторных испытаний.

Следствием этого является рост затрат на создание продукта и/или упущенная возможность улучшить его качество. Чтобы шансы на создание наиболее эффективного продукта были максимальными, чрезвычайно важны правильная интерпретация результатов лабораторных испытаний и их подтверждение результатами испытаний на моторном стенде. Валидация продукта в эксплуатационных условиях абсолютно необходима.

Может создаться впечатление, что наиболее очевидным способом повышения эффективности продукта является простое увеличение концентрации присадки. Однако опыт подсказывает, что подобный подход в ряде случаев не только технически нецелесообразен, но и экономически неэффективен. Увеличение концентрации присадки в некоторых случаях может даже ухудшить качество масла. Использование новых и усовершенствованных присадок, а также технологии приготовления продукта позволило не только улучшить его потребительские свойства, но и добиться оптимального соотношения цена—качество.

На основании результатов лабораторных, стендовых и эксплуатационных испытаний компания «Chevron Oronite» разработала технологию присадки ТРЕО для дизелей, работающих на малосернистых топливах, которая обеспечивает:

- чистоту поверхности поршня;
- очистку деталей от маслянистых отложений;
- управление загустеванием масла;
- увеличение интервала смены масла;
- возможность использования с любыми маслами (базовые масла групп I и II);
- существенное снижение потребности в брайтстоке.

Для выбора наиболее перспективных составов и технологии применения была разработана методика лабораторных скрининг-тестов, позволяющая получить статистически значимые результаты с использованием полнофакторного и полуфакторного анализа. Лучшие образцы прошли испытания на дизельных стендах с целью дальнейшего сокращения списка исследуемых вариантов. Образцы, показавшие лучшие результаты, были испытаны в эксплуатационных условиях на

разных двигателях. При этом было отобрано несколько лучших образцов, для каждого из которых была выведена корреляция результатов лабораторных и стендовых/эксплуатационных испытаний.

Эксплуатационная проверка результатов ОКиНИР

Первые этапы создания нового продукта «Chevron Oronite» обычно посвящены планированию экспериментов (DoE — Design of Experiments), в ходе которых изучается воздействие каждого из показателей качества масла на общую оценку его качества. На рис. 3 изображено графическое представление такого многофакторного эксперимента, где каждый фактор представляет собой определенный параметр химического состава. Каждый новый продукт, разработанный согласно данной методике, представлен одним из углов куба. С увеличением числа параметров количество экспериментов растет по экспоненте, поэтому полнофакторный анализ требует чрезмерных затрат средств и времени. Поэтому был использован полуфакторный или частично-факторный анализ как более практичный и эффективный. Лабораторные испытания были проведены для скрининга продуктов по таким показателям, как термическая и окислительная стабильность, повышение моющей способности и вязкости.

Анализ, схематически изображенный на рис. 3, был использован при создании смазочного продукта, удовлетворяющего перечисленным выше требованиям. Параметры для отбора лучших моющих и диспергирующих агентов определялись с учетом их оптимальных концентраций. Качество нового, улучшенного продукта в значительной мере определяется типом и концентрацией таких компонентов, как ингибиторы износа, пенообразования и коррозии. В качестве других условий в данном проекте фигурировали универсальность (пригодность для масел групп I и II API) и

Итоговые результаты лабораторных испытаний шести отобранных вариантов ТРЕО для работы на дистиллятных топливах

Образец	Базовый вар.	Вар.1	Вар.2	Вар.3	Вар.4	Вар.5	Вар.6
Группа базового масла	Группа I	Группа I	Группа I	Группа II	Группа I	Группа I	Группа II
Гор. ванна (310°)	3,5	8,5**	8,5**	4,5	4,5	4,5	4,0
Гор. ванна (320°)	1,5	3,5**	2,5**	1,5	1,5	0,5*	0,5*
Micro Coker, °C	265	246*	243*	233*	260	261	255*
DSC, мин	25	24	28**	26	26	28**	25
Рост вязкости MIP-48, %	46	48	23**	13**	29**	19**	0**

* Показатели значительно ниже, чем у базового образца.
 ** Показатели значительно выше, чем у базового образца.

максимально возможное снижение потребности в брайстоке для достижения вязкости SAE 40 с целью экономии на базовых маслах.

После нескольких последовательных приближений была определена рецептура шести оптимальных вариантов продукта, выполнена оценка их эффективности. Итоговые результаты лабораторных испытаний оптимальных вариантов продукта сведены в табл. 1. Для определения стойкости к окислению и моющей способности традиционно используются испытания в горячей ванне, а для определения окислительной устойчивости смазки — метод дифференциальной сканирующей калориметрии (DSC — Differential Scanning Calorimetry).

Лабораторный тест Micro Coker (коксообразование на пластине) определяет показатель температурной устойчивости смазки, контактирующей с металлической поверхностью.

И наконец, модифицированный тест IP-48 (MIP-48) на общую окисляемость, который используется для определения влияния факторов массопередачи и макромолекулярных эффектов и показывает, как меняется окислительная стабильность смазки по мере возрастания ее вязкости в ходе эксперимента. Из сравнения полученных результатов видно, что каждый из испытываемых вариантов превосходит остальные по одному или нескольким показателям.

Рассматривая результаты испытаний в горячей ванне (табл. 1), можно заметить, что варианты 1 и 2 превосходят остальные по окислительной стабильности и отложениям (в сравнении с базовым вариантом). Как показывает опыт, эти результаты лабораторных испытаний хорошо коррелируют с показателем чистоты поршня

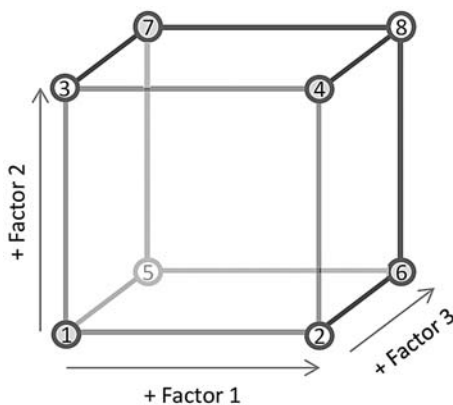


Рис. 3. 2³ / 2⁽³⁻¹⁾ Полно- и полуфакторный анализ

при испытаниях на двигателе. При этом, основываясь на результатах дифференциальной сканирующей калориметрии (DSC) и модифицированного теста IP-48 (MIP-48), можно ожидать, что вариант 2 по качеству очистки поршня превзойдет вариант 1.

Результаты эксплуатационных испытаний на двигателе

Результаты лабораторных испытаний впоследствии были подтверждены при сравнении показателей вариантов 1 и 2 с показателями базового варианта в процессе эксплуатационных испытаний. Для эксплуатационных испытаний был выбран Caterpillar-3606 — главный двигатель траулера, работающий на малосернистом дистиллятном топливе. Этот выбор объясняется желанием проверить продукт в наиболее жестких эксплуатационных условиях при интенсивном использовании двигателя. В табл. 2 приведены сравнительные показатели чистоты поршня.

Таблица 2

Результаты эксплуатационных испытаний на двигателе Caterpillar 3606

Образец	Базовый вариант	Вариант 1	Вариант 2
Группа базового масла	Группа I	Группа I	Группа I
Загрязнение верхнего пояска	50	55	37**
Загрязнение промеж. пояска (в среднем)	82	87	105
Загрязнение канавки (в среднем)	98	119**	101**

* Показатели значительно ниже, чем у базового образца.

** Показатели значительно выше, чем у базового образца.



Рис. 4. Маслянистый осадок на крышке кожуха толкателя (двигатель Caterpillar 3606) для базового варианта (наверху) и варианта 2 (внизу)

Из табл. 2 видно, что ни один из вариантов (1 или 2) не дает серьезных преимуществ по данному показателю в сравнении с базовым вариантом, как этого можно было ожидать по результатам лабораторных испытаний (табл. 1). В то же время, как видно на рис. 4 и 5, вариант 2 обеспечивает исключительно высокую степень очистки поршня.

По сравнению с базовым вариантом на крышке кожуха толкателя и на коромысле привода клапанов вязкий осадок практически отсутствует.

Одновременно с испытаниями на двигателе Caterpillar 3606 проводились испытания варианта 3 на двигателе Wartsila 8L20, работающем на малосернистом дистиллятном топливе. Вариант 3 по составу аналогичен варианту 2. Единственным отличием является то, что он подмешивается к базовому маслу группы II. Судя по результатам лабораторных испытаний, можно было предположить, что эффект от обоих вариантов, по сравнению с базовым, будет одинаков. Результаты

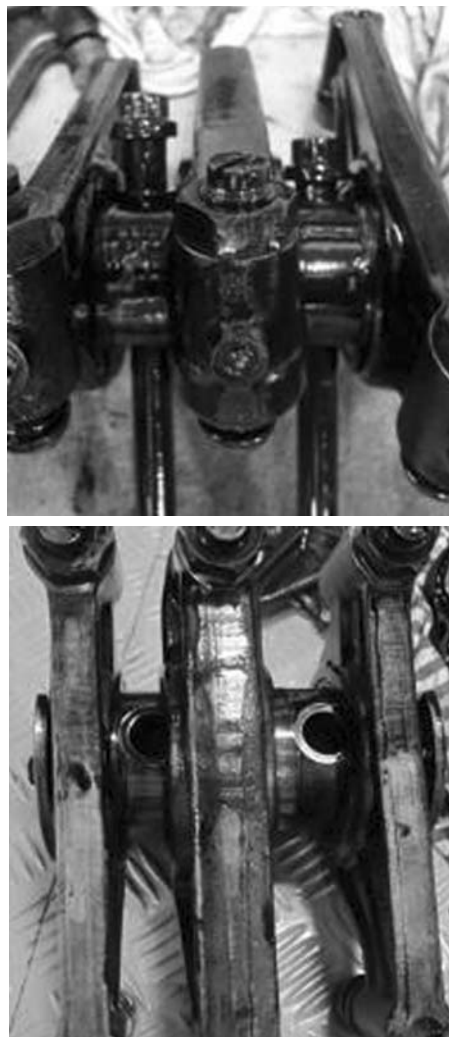


Рис. 5. Маслянистый осадок на коромысле двигателя Caterpillar 3606 для базового варианта (наверху) и варианта 2 (внизу)

испытаний на двигателе Wartsila 8L20 представлены на рис. 6–7.

Как следует из рис. 6, вариант 3 обеспечивает значительно лучшую очистку поршня. Цилиндровые втулки (рис. 7), также оказались значительно чище, чем при использовании базового варианта. На основании результатов лабораторных испытаний, представленных в табл. 1, прогнозировать подобный эффект было трудно.



Рис. 6. Днище поршня двигателя Wartsila 8L20 для базового варианта (наверху) и варианта 3 (внизу)

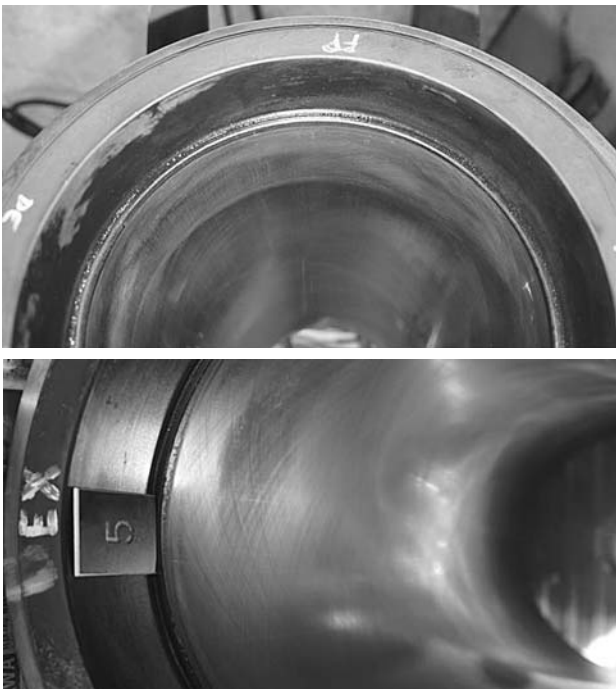


Рис. 7. Чистота цилиндровой втулки двигателя Wartsila 8L20 для базового варианта (наверху) и варианта 3 (внизу)

Аналогичным образом, вопреки ожиданиям, вариант 3 в качестве присадки к базовому маслу группы II обеспечил чрезвычайно эффективный контроль маслянистого осадка. Это отчетливо видно на рис. 8 и 9, где показаны фрагменты картера и коромысла двигателя Wartsila 8L20 после работы с базовым маслом и с присадкой (вариант 3). Что касается коромысел, то здесь результат с базовым маслом получился тот же, что и на двигателе Caterpillar 3606 (см. выше).

Результаты тестирования вариантов присадок 1–3 красноречиво свидетельствуют о том, что если полагаться только на данные лабораторных испытаний, то неверные результаты, как ложноположительные, так и ложноотрицательные, почти гарантированы. В то же время эксплуатационные испытания, как уже отмечалось, являются делом дорогостоящим и требуют тщательного планирования.

Для проведения испытаний сложно найти однотипные двигатели, работающие в сходных условиях, чтобы можно было провести непосредственное сравнение качества смазок. Поэтому в программу разработки любого нового продукта рекомендуется в обязательном порядке включать испытания на дизельном стенде. Это дает возможность непосредственно сравнивать работу различных смазок в контролируемых условиях.

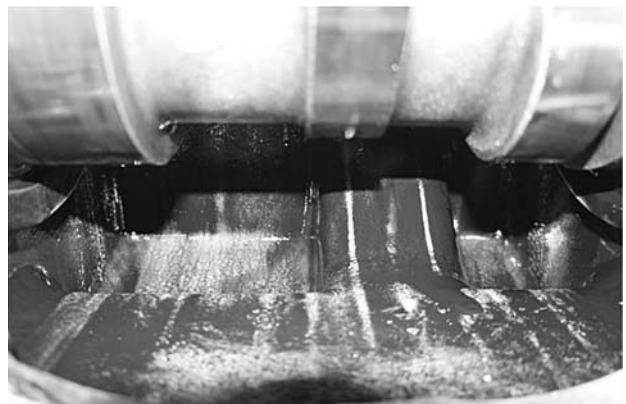


Рис. 8. Чистота картера двигателя Wartsila 8L20 для базового варианта (наверху) и варианта 3 (внизу)

Результаты сравнительных испытаний по рейтингу очистки поршня двигателя AVL/Caterpillar-1J

Образец	Базовый вариант	Вариант 1	Вариант 4	Вариант 5	Вариант 6
Группа базового масла	Группа I	Группа I	Группа I	Группа I	Группа II
Рейтинг очистки поршня	6,9	6,8	9,3**	9,9**	8,9**

** Показатели значительно выше, чем у базового образца.

1J варианты присадок 1 и 4–6 сравнивались с базовым. Варианты 5 и 6 имеют аналогичный состав, при этом вариант 1 подмешивается к базовому маслу группы I, а вариант 2 — к базовому маслу группы II. Результаты сравнительных испытаний (по рейтингу очистки поршня) сведены в табл. 3.

Управление вязкостью

Как неоднократно отмечалось, представляет интерес возможность снижения количества брайтстока, необходимого для управления вязкостью. В табл. 4 приводятся данные по количеству брайтстока, необходимого для получения смазки с вязкостью SAE 40 при смешивании с тяжелым дистиллятным маслом 600 Heavy Neutral. Как следует из таблицы, применение вариантов 5 и 6 позволяет получить вязкость SAE 40 без использования брайтстока.

Кроме того, варианты 5 и 6 сравнивались с базовым маслом при испытаниях двигателя Wartsila 4L20, работающего на малосернистом дистиллятном топливе. Испытания проводились на моторном стенде с двигателем Wartsila 4L20 лаборатории «Chevron Oronite Technology» в Амстердаме. Основной целью этих испытаний, проводимых на полноразмерном двигателе, была проверка возможностей управления вязкостью. Для увеличения интервалов смены масла желательнее обеспечить небольшой, но постоянный прирост вязкости. На рис. 10 показаны графики

Таблица 4

Количество брайтстока, необходимое для достижения вязкости SAE 40

Образец	Базовый вариант	Вариант 1	Вариант 4	Вариант 5	Вариант 6
Группа базового масла	Группа I	Группа I	Группа I	Группа I	Группа II
Брайтсток, %	10	25*	15	0**	0**

* Концентрация значительно выше, чем у базового образца.

** Концентрация значительно ниже, чем у базового образца.



Рис. 9. Вязкий осадок на коромысле двигателя Wartsila 8L20 для базового варианта (слева) и варианта 3 (справа)

При этом стоит еще раз напомнить, что испытания на дизельном стенде не являются альтернативой эксплуатационным испытаниям, а лишь обязательным подтверждением результатов лабораторных испытаний.

Испытания на дизельном стенде

В лаборатории испытаний двигателей «Chevron Oronite Technology Netherlands» в Роттердаме был разработан метод испытаний, позволяющий отбраковывать присадки по критерию очистки поршня. Этот метод, применяемый на одноцилиндровом исследовательском отсеке AVL/Caterpillar-1J, работающем на малосернистом дистиллятном топливе, в наибольшей степени подходит для типичных условий работы 4-тактных двигателей в эксплуатации. Включение таких испытаний в программу создания нового продукта уменьшает вероятность выбора неподходящего варианта (ложноположительный или ложноотрицательный результат), если полагаться только на результаты лабораторных испытаний.

По результатам испытаний на одноцилиндровом исследовательском отсеке AVL/Caterpil-

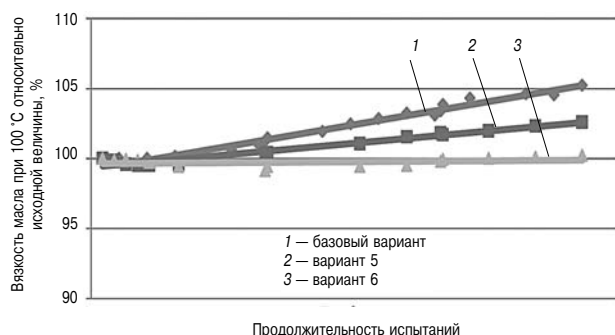


Рис. 10. Регулирование роста вязкости масла двигателя Wartsila 4L20 при использовании вариантов присадок 4–6 и базового варианта

прироста вязкости масла при температуре 100 °C относительно исходного значения для разных вариантов присадок. На рисунке отчетливо видно превосходство вариантов 5 и 6 по данному показателю над базовым вариантом.

В противоположность результатам лабораторных испытаний, полученным ранее, результаты стендовых испытаний правильно отражают преимущество варианта 1 над базовым по степени очистки поршней. Эти испытания подтверждают также данные, полученные на двигателе Caterpillar 3606, и показывают, что результаты лабораторных испытаний, приведенные в табл. 1, могут лишь с оговорками быть использованы для прогнозирования поведения смазочного масла в двигателе. Аналогичным образом на основании рейтинга по показателю очистки поршня можно прогнозировать улучшение данного показателя для вариантов 4–6 гораздо надежнее, чем на основании результатов лабораторных испытаний.

Отличные результаты в части контроля вязкости масла двигателя Wartsila 4L20, полученные с использованием варианта 6, подтверждают результаты лабораторных испытаний по критерию MIP-48, приведенные в табл. 1. Результаты лабораторных испытаний по MIP-48 при оценке управления вязкостью масла хорошо коррелируют с результатами моторных испытаний для всех трех испытанных вариантов. А именно, вариант 5 показал увеличение вязкости вдвое меньшее, чем базовый.

Эксплуатационные испытания с целью подтверждения полученных показателей по качеству очистки поршня и управления вязкостью будут продолжены на двигателе Wartsila 8L20. Эти испытания должны также дать ответ на вопрос, смогут ли варианты 5 и 6 сохранить или даже улучшить те показатели качества, которые были достигнуты при проведении стендовых испытаний.

Заключение

Результаты исследований, приведенные в настоящем докладе, свидетельствуют о том, что при создании нового продукта нельзя полагаться лишь на лабораторные испытания, так как при этом существует высокий риск получения недостоверных результатов. Это верно даже в том случае, когда все лабораторные испытания планируются с учетом результатов эксплуатационных испытаний, имеющих на момент разработки программы лабораторных испытаний. Корреляция между результатами лабораторных и эксплуатационных испытаний становится ненадежной при попытках экстраполяции выявленных закономерностей за пределы диапазонов рабочих условий. Однако в указанных пределах ценность прогноза сохраняется, и результаты лабораторных испытаний могут быть использованы для оценки стабильности свойств продукта.

Что касается эксплуатационных испытаний, то их результаты не менее важны, поскольку они дают заказчикам, OEM и конечным пользователям уверенность в надежности и качестве продукта в реальных эксплуатационных условиях.

Чтобы заказчики могли воспользоваться всеми преимуществами новых продуктов ТРЕО, «Chevron Oronite» постоянно проводит интенсивные лабораторные, стендовые и эксплуатационные испытания. Приводимые в настоящем докладе данные свидетельствуют о том, что продукты, созданные и испытанные «Chevron Oronite», соответствуют ожиданиям и требованиям потребителей.

Литература

1. Revised MARPOL Annex VI, International Maritime Organization, www.imo.org.
2. ABS Regulatory Affairs: International regulation News Update, November 2015, Vol. 26, № 1.
3. ABS: Marine Emission Control Area Plan for Pearl River Delta, Yangtzy River Delta, Bohai Rim Area, Ministry of Transport of People's Republic of China, www.moc.gov.cn.
4. Egloff C. et al. «Forecasting the Future of Marine Fuel», *bcg. perspectives*, March, 17th, 2015.
5. Boons M. et al., «Lubrication challenges for distillate fuel operated two-stroke engines», Paper № 111, CIMAC Congress 2010, Bergen
6. Kalkman J. et al. «Can Group I base oil come back?», Arthur D. Little, Viewpoint Energy & Utilities, August 2015.
7. Tyler A., «Base oils: Group II plants lengthen supply», ICIS Chemical Business, February 13th, 2015.
8. ICIS Base Oil Trends. <http://www.icis.com/energy/base-oils-lubes/asia/?tab=tbc-tab4>.
9. Yeo R. «Outlook '16: Europe Group I base oil refinery closures to change market», ICIS News, January 4th, 2016.

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЦИЛИНДРОВЫХ СМАЗОК И НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ ОТДЕЛЕНИЯ ДВУХТАКТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ MAN B&W

*Dorthe M.S. Jacobsen, Jesper Mark Pedersen,
Julia Svensson, Stefan Mayer
MAN Diesel & Turbo*

Реферат

Судовые двигатели фирмы MAN B&W непрерывно совершенствуются, в том числе за счет применения новых принципов организации рабочего процесса. Одновременно расширяется номенклатура применяемых топлив. Этот процесс не может не затронуть смазочные масла, системы подачи масла и целый ряд компонентов двигателя. В настоящем докладе, подготовленном подразделением двухтактных двигателей «MAN Diesel & Turbo», описываются возникающие при этом проблемы. Освещаются перспективные системы подачи масла, предназначенного для топлив с любым содержанием серы (от 0 до 3,5 %) и новые компоненты, устраняющие риск критического истощения масляного слоя. Подобные риски могут быть снижены за счет применения новых цилиндровых масел.

В настоящем докладе представлены два новых элемента конструкции, которые уменьшают вероятность истирания поверхности втулки и задиров при длительной работе двигателя на топливах с содержанием серы менее 0,1 %. Поршневые кольца с покрытием Cermet показали свою эффективность, поэтому мы рекомендуем применять поршневые кольца только с таким покрытием.

Цилиндровые масла обычно оптимизируются для заданного диапазона содержания серы. Суда, двигатели которых могут работать на топливах с любым содержанием серы (от 0 до 1,0–2,0–3,5 %), для обеспечения эффективной смазки должны иметь на борту цилиндровые масла нескольких типов. Удачным решением может стать система автоматического смешивания масла АСОМ (Automated Cylinder Oil Mixing) для работы которой достаточно лишь двух сортов масла. В системе АСОМ смешиваются масла с низким (low-BN) и высоким (high-BN) значениями щелочного числа BN в пропорции, оптимальным образом соответствующей содержанию серы в имеющемся топливе. Система оперативно готовит и подает смесь масел, требуемой вязкости, что способствует более эффективной смазке деталей цилиндропоршневой группы и улучшению их состояния. Система АСОМ обеспечивает эффективную смазку при изменении содержания серы в топливе 0–3,5 % при наиболее сбалансированном составе смазки. В настоящее время система АСОМ готова к эксплуатационным испытаниям.

Система автоматического переключения цилиндровых масел АСОС (Automated Cylinder Oil Switching), разработанная специально для газодизелей ME-GI, обеспечивает переключение между соответствующими видами смазки при переходе с LNG на высокосернистое HFO (мазут) и обратно. Система АСОС, интегрированная в систему управления двигателем, обеспечивает переключение между low-BN и high-BN маслами в зависимости от вида подаваемого в данный момент топлива и нагрузки двигателя. В настоящее время система АСОС является штатной принадлежностью двигателей серии ME-GI.

Эффективность оптимизации рабочего процесса при этом зависит от того, насколько точно удастся отслеживать рабочие параметры и насколько своевременно оператор реагирует на получаемую информацию. Отмечается важность качества работы бортовых систем контроля, а именно систем анализа отработанного масла, состояния цилиндровых окон и поверхности цилиндрической втулки.

Введение

Подразделение двухтактных двигателей «MAN Diesel & Turbo» начало выпуск двигателей MAN B&W ME-GI для работы на сжиженном природном газе (LNG), ME-GIE — для работы на этане и ME-LGI — для работы на метаноле. Ведется разработка двигателей для работы на сжиженном нефтяном газе (LPG). Все перечисленные выше двигатели способны работать также на жидких топливах, включая дистилляты, мазуты (HFO) и топлива со сверхнизким содержанием серы (ULSFO — ultra-low sulphur fuel oil).

LNG, этан, метанол и LPG, попадающие в группу топлив с содержанием серы до 0,1 %, являются относительно новыми для двухтактных двигателей. В 2015 г. на рынке появился целый ряд топлив ULSFO 0,1 % S, так что в настоящее время работа на дистиллятах 0,1 % S и других топливах данной категории является обычным делом.

Предельно допустимое содержание серы 0,1 % — одно из нормативных требований MARPOL Annex VI [1], вступивших в силу с января 2015 г. Эти требования предусматривают резкое снижение предельно допустимого содержания серы в топливе — с 1,0 до 0,1 % — для судов, работающих в пределах зон контролируемых выбросов окислов серы (SECA). Целью данного ограничения является снижение выбросов окислов серы (SO_x) в отработавших газах судовых двигателей. Это требование повлекло за собой не только определенные технические проблемы, но и повышение эксплуатационных расходов из-за относительной дороговизны дистиллятов по сравнению с HFO.

Концепция снижения выбросов SO_x не нова. Калифорнийский совет по охране воздушных ресурсов (CARB — California Air Resource Board) впервые ввел ограничение на выбросы окислов серы от судов, работающих в прибрежных водах Калифорнии, в 2009 г., а в 2014 г. нормы были ужесточены до нынешних 0,1 % S. Опыт США в использовании малосернистых топлив был использован при подготовке нормативов MARPOL, вступивших в силу в 2015 г.

К числу 0,1 % SECA относятся Балтийское и Северное моря, Ла-Манш и воды в пределах 200-мильной зоны вдоль побережья США, Гаваев, прибрежные воды Пуэрто-Рико и Виргинских Островов (Карибская ECA США), а также Канады [1].

Все суда, в зоне 0,1 % SECA, должны соответствовать этому требованию, которое может быть выполнено либо за счет использования топлив с содержанием серы менее 0,1 % (как например, дистилляты, 0,1 % S ULSFO, LNG, метанол, этан или LPG) либо за счет применения средств очистки газов до уровня, соответствующего сжиганию топлива 0,1 % S.

Китай постепенно вводит свои зоны контролируемых выбросов 0,5 % S в районах интенсивного судоходства. Это — дельта реки Янцзы, дельта реки Янтарной и Bohao Rim. Эти зоны вводятся независимо от MARPOL SECA и должны официально вступить в силу с 1 января 2019 г.

Евросоюз (ЕС) в 2010 г. вводит лимит вредных выбросов 0,5 % S для внутренних водных путей сообщения, не входящих в число действующих 0,1 % SECA. IMO предлагает ввести глобальное ограничение 0,5 % S в 2020 г. Таким образом, переход на малосернистые топлива становится реальностью, и со временем этот процесс будет только ускоряться.

Отделение двухтактных двигателей «MAN Diesel & Turbo» еще в 2014 г. выпустило информационное письмо SL2014–593 «Рекомендации по работе на топливах с содержанием серы менее 0,1 %» [4].

В настоящем докладе подразделение двухтактных двигателей «MAN Diesel & Turbo» описывает возникающие при этом проблемы и делится опытом работы на топливах с содержанием серы (S) менее 0,1 %. В нем также представлены перспективные системы подачи цилиндрического масла, способные покрыть весь диапазон возможного содержания серы 0–3,5 %, и компоненты двигателей, необходимые для продолжительной работы на топливах с содержанием серы менее 0,1 %.

Морские топлива и цилиндрические масла — общий обзор

Отделение двухтактных двигателей MAN Diesel & Turbo постоянно работает над тем,

чтобы поставляемые им двигатели обеспечивали возможность работы на коммерчески доступных морских топливах.

Перспективные морские топлива

При выборе топлива судовладелец, как правило, принимает во внимание следующие факторы:

- действующие нормы и правила;
- доступность;
- цена.

Как отмечалось выше, всеобщее ограничение на содержание серы в морских топливах (global cap), равное 0,5 %, скорее всего, вступит в силу в 2020 или 2025 г. Основываясь на этом предположении, прогнозах ExxonMobil Energy Outlook 2015 г. и дискуссиях с заинтересованными сторонами, отделение двухтактных двигателей «MAN Diesel & Turbo» составило свой прогноз развития рынка морских топлив (рис. 1).

Ожидается, что высокосернистые (HS) мазуты по-прежнему будут составлять основную часть всех морских топлив. Их стоимость будет оставаться достаточно низкой для того, чтобы установка и эксплуатация скрубберов была экономически оправдана. В первую очередь это относится к судам с наиболее крупными двигателями. Содержание серы в таких топливах может даже превышать сегодняшний максимум 3,5 %.

Использование LNG в судовых двигателях будет непрерывно возрастать, в итоге этот вид топлива станет играть весьма заметную роль на топливном рынке. В настоящее время около 10 % двухтактных двигателей, заказываемых у MAN B&W, составляют двухтопливные двигатели типа ME-GI, ME-GIE или ME-LGI.

Можно предположить, что нефтехимическая промышленность предложит новые виды топлив с максимальным содержанием серы 0,5 %, подобно тому как в 2015 г. появились новые типы ULSFO вследствие ввода в действие 0,1 % SECA.

Цилиндрические масла будущего

Выбор цилиндрического масла зависит от используемого вида топлива. Отделение двухтактных



Рис. 1. Прогноз динамики рынка морских топлив (в предположении, что IMO введет всеобщее ограничение на содержание серы 0,5 % в 2020 г.)

двигателей «MAN Diesel & Turbo» в этом вопросе придерживается следующих принципов:

1. High-BN масла должны применяться с высокосернистыми топливами;

2. Low-BN масла должны применяться с:

а) топливами, содержащими менее 0,1 % S, включая дистилляты, ULSFO, LNG, метанол, LPG и т. п.

б) топливами, содержащими до 0,5 % S.

Общие концепции смазки

Понимание требований, предъявляемых к смазке двухтактных двигателей, позволяет оператору обеспечить защиту двигателя, надежность и эффективность его работы и реальное снижение стоимости эксплуатации. Правильный подбор количества и типа цилиндрического масла в зависимости от вида топлива, типа двигателя и профиля эксплуатационных режимов является ключевым условием достижения высокой экономичности.

Смазка цилиндров осуществляется для того, чтобы:

➤ гарантировать присутствие масляного слоя между поршневыми кольцами и цилиндрической втулкой (собственно смазка);

➤ гарантировать свободное движение поршневых колец;

➤ при работе на сернистых топливах — гарантировать наличие количества щелочи, достаточного для нейтрализации кислот и защиты компонентов двигателя.

Общая концепция смазки двухтактных двигателей MAN Diesel & Turbo схематически представлена на рис. 2. Вкратце она сводится к следующему:

➤ использование low-BN (15-40 BN) масел для смазки цилиндров при работе на малосернистых топливах;

➤ использование high-BN (70-100 BN) масел для смазки цилиндров при работе на высокосернистых топливах.

Общие требования, которым должны удовлетворять масла для смазки цилиндров:

➤ вязкость SAE 50;

➤ высокая моющая способность.

Вязкость масла SAE 50 гарантирует достаточную толщину масляного слоя между поршневым кольцом и втулкой. Если масляный слой становится слишком тонким, это приводит к уменьшению количества нейтрализатора в масляном слое, ослабляя тем самым коррозионную защиту двигателя. Также при этом возрастает шероховатость поверхности втулки в верхней ее части, что приводит к увеличению износа данной области.

Высокая моющая способность необходима для минимизации отложений при работе как на мало-, так и на высокосернистых топливах. Рост отложений увеличивает износ поверхности и склонность к задирам.

Производитель масла отвечает за его качественные показатели и соответствие эксплуатационным требованиям. Масло должно иметь достаточные запасы надежности на случай выхода рабочих условий за нормальные пределы (например, обводнение масла или локальное превышение предельно допустимой температуры).

Общие проблемы смазки

До недавнего времени оптимизация малооборотных судовых двигателей и соответствующих масел проводилась применительно к тяжелым топливам (НФО) с высоким содержанием серы. При сгорании часть серы окисляется, образуя серный ангидрид (SO_3). Последний реагирует с водой, образуя серную кислоту (H_2SO_4). Когда температура цилиндрической втулки падает до точки росы водного раствора серной кислоты, на поверхности втулки происходит конденсация коррозионно-активной смеси.

Основным нейтрализатором в цилиндрических маслах является углекислый кальций (CaCO_3). Чем выше его содержание в масле, тем выше значение его щелочного числа (BN). Химическая реакция в цилиндрическом масле между CaCO_3 и H_2SO_4 выражается уравнением (1):



Высокощелочные (high-BN) цилиндрические масла нейтрализуют кислоту, предотвращая тем самым коррозию поршневых колец и поверхности цилиндрической втулки. Если подача цилиндрического масла меньше расчетной, или если величина BN недостаточна, детали двигателя начнут корродировать.

При работе на малосернистых топливах образуется лишь небольшое количество H_2SO_4 , поэтому потребность в нейтрализаторе снижается (рис. 3). В этом случае основной функцией цилиндрического масла является смазка, поэтому его подача должна быть сведена к минимуму

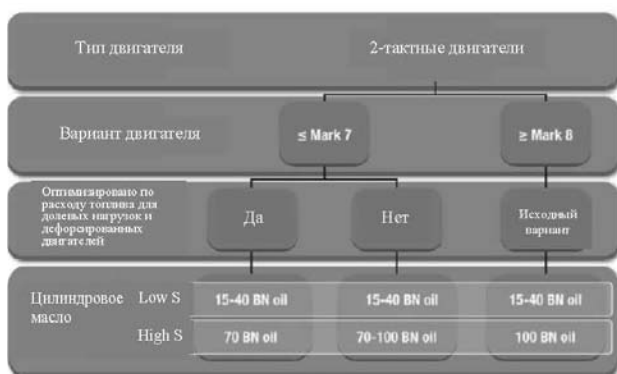


Рис. 2. Общая концепция и выбор оптимального вида масла для смазки цилиндров [5]



Рис. 3. Соотношение между содержанием серы в топливе и щелочным числом цилиндрического масла BN

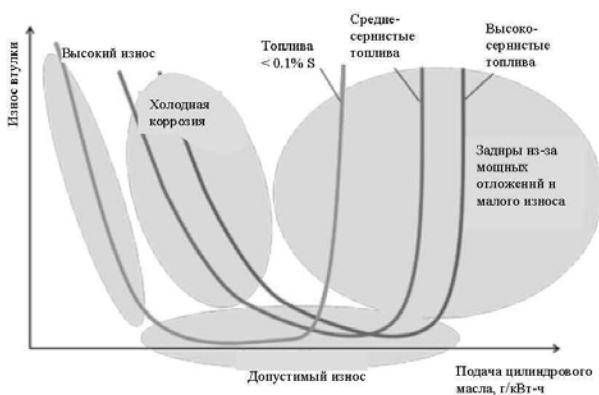


Рис. 4. Износ цилиндрической втулки в зависимости от подачи цилиндрического масла при прочих равных условиях (тип масла, его рабочие параметры и окружающие условия)

(0,6 г/кВт·ч). В нормальных условиях износ деталей цилиндропоршневой группы незначителен. Однако если подача смазочного масла значительно ниже рекомендованного минимума, может начаться неконтролируемый износ (задиры).

Сложная взаимозависимость между содержанием серы в топливе, подачей цилиндрического масла и скоростью износа иллюстрируется рис. 4. По оси абсцисс откладывается расход цилиндрического масла и/или изменение BN. Имеют значение также конфигурация двигателя, его рабочие параметры и окружающие условия (например, влажность атмосферного воздуха).

Поверхности новых и восстановленных цилиндрических втулок должны иметь специальный (волнистый) микрорельеф [6]. Это необходимо для удержания достаточного количества цилиндрического масла на поверхности втулки. При работе двигателя волнистый микрорельеф, из-за износа поверхности цилиндрической втулки постепенно истирается, особенно в верхней части втулки. При этом функция удержания масляного слоя переходит к открытым вкраплениям вермикулярного графита.

При нормальных условиях работы на поверхности цилиндрической втулки имеются открытые вкрапления графита и небольшие следы износа (рис. 5). Общеизвестным объяснением этого факта является то, что открытые вкрапления графита работают как аккумуляторы масла, способствующие образованию и поддержанию масляного слоя (рис. 6). Такое положение нормальное для работы на сернистых топливах, когда контролируемая коррозия помогает поддержанию рабочей поверхности втулки в нужном состоянии [6].

Если подача цилиндрического масла превышает необходимую, или используется масло с завышенным BN, то возникает ситуация, когда некоторые из присутствующих в цилиндрическом масле присадок могут способствовать образованию отложений на верхнем днище поршня, а также на поверхностях поршневых колец и канавок. Антикоррозионные мероприятия могут привести к тому, что износ металла сведется практически к нулю. Однако условия смазки при этом ухудшатся из-за закрытия

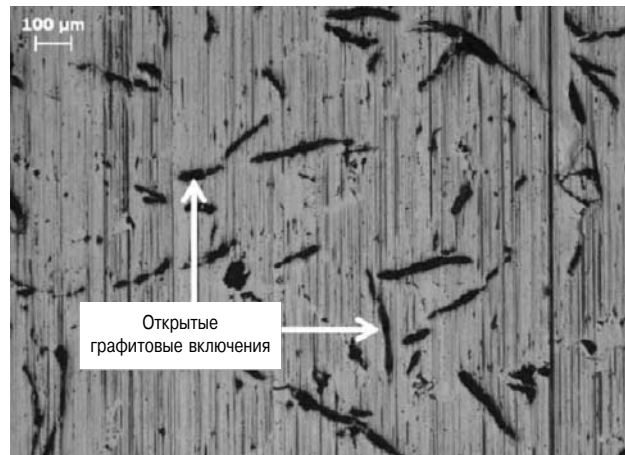


Рис. 5. Микроструктура нормальной, хорошо работающей втулки с включениями графита и незначительными следами износа

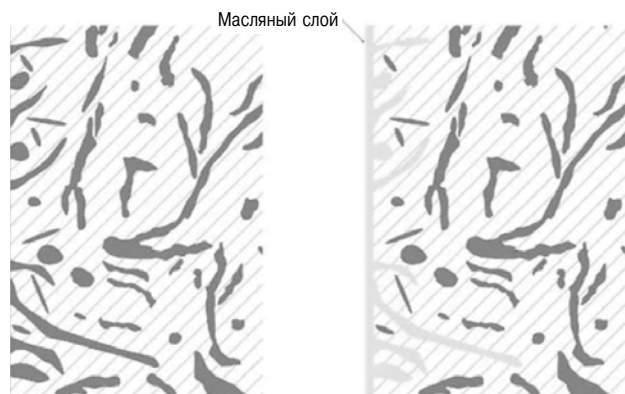


Рис. 6. Поперечное сечение поверхности цилиндрической втулки (видны масляный слой и графитовые включения, действующие как аккумуляторы масла)

графитовых включений (эффект полировки). Наблюдались случаи, когда это приводило к задирам на поверхностях колец и втулок [6].

В то же время практика показывает, что двигатели, в которых подача цилиндрического масла или его щелочное число недостаточны (что становится причиной холодной коррозии), оказываются менее склонными к задирам даже при значительных износах. Открытые графитовые включения всегда присутствуют на поверхности втулок, работающих в коррозионно-активной среде. Можно утверждать, что коррозионный износ (холодная коррозия) способствует значительному повышению шероховатости поверхности, что помогает образованию открытых графитовых включений, в которых удерживается масло.

Ряд исследователей высказывает предположение, что продукты коррозии работают как сухая смазка или просто как сепаратор, который разделяет между собой поверхности фрикционных пар, тем самым предохраняя их от непосредственного соприкосновения и микросварки (локального схватывания или задира) [7, 8].

Важно отметить, что, как показывает опыт, образование ощутимых отложений и возникновение соответствующего (незначительного) износа занимает достаточно много времени (более 250 моточасов), тогда как развитие холодной коррозии из-за недостаточной подачи цилиндрического масла или превышения щелочного числа — это вопрос нескольких часов.

Проблемы смазки, возникающие при работе на топливе 0,1 % S

К числу основных проблем смазки, возникающих при работе на топливе 0,1 % S, относятся выпадение из цилиндрического масла осадка и его отложение на деталях, а также полировка поверхности цилиндрической втулки. Остановимся на этом более подробно.

Образование отложений из цилиндрического масла

Цилиндрическое масло должно обладать термостойкостью, достаточной для того, чтобы выдерживать контакт с наиболее нагретыми участками верхней части цилиндра (камеры сгорания). Это позволит свести к минимуму образование отложений на днище поршня, на поверхностях поршневых колец и канавок. [9].

При использовании малосернистых топлив количество образующейся серной кислоты незначительно. При этом образованию осадка способствуют присадки цилиндрического масла (главным образом CaCO_3), не использованные по назначению. Опыт показывает, что такие отложения образуются на днище поршня и на поверхностях поршневых колец и канавок (рис. 7 и 8).

Отложения могут способствовать разрушению масляного слоя и препятствовать движению



Рис. 7. Отложения на днище поршня (белые пятна) двигателя, работающего с большим превышением подачи цилиндрического масла (двигатель 7L35MC-S, наработка 1868 часов)

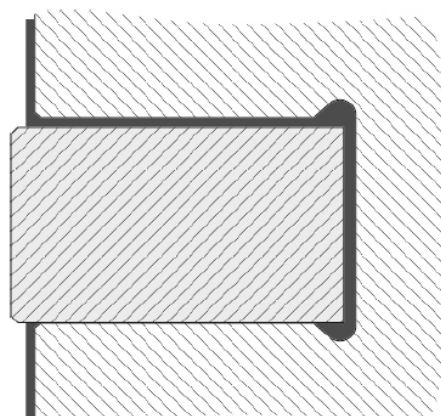


Рис. 8. Локализация осадка на поверхностях поршневых колец и канавок

поршня, что приводит к возникновению микроскопических потертостей на поверхностях поршневых колец и втулки, увеличивая риск задира. Кроме того, наличие отложений увеличивает риск зеркальной полировки втулки. Зеркальная полировка усиливает износ и истирание.

Осадок, который образуется на поверхностях камеры сгорания двигателей, работающих на высокосернистом топливе, состоит, главным образом, из сульфата кальция (CaSO_4), как продукта реакции нейтрализации серной кислоты (уравнение 1).

В двигателях, работающих на малосернистом топливе или на топливе с содержанием серы менее 0,1 %, осадок состоит преимущественно из CaCO_3 . Этот случай проиллюстрирован на рис. 7. Двигатель в течение длительного времени работал на топливе с содержанием серы менее 0,1 % при

большом переизбытке подаваемого масла, в результате чего образовался мощный слой CaCO_3 .

В настоящее время на рынке предлагаются вновь разработанные сорта масел, оптимизированные для работы с топливом 0,1 % S.

Полировка поверхности цилиндровой втулки

При работе на топливе 0,1 % S уровень коррозии, а следовательно, и износа, незначителен. Низкий износ может приводить к наволакиванию металла, в результате чего имеющиеся в чугуне графитовые включения оказываются закрытыми связующим материалом на металлической основе (рис. 9). Это явление часто именуют заволакиванием. Пример металлической поверхности в двигателе, в течение длительного времени работавшего на топливе с содержанием серы менее 0,1 %, показан на рис. 10.

В результате поверхность втулки становится гладкой и блестящей, как бы полированной. (рис. 11). Такая поверхность с трудом поддается смазке, так как теряет способность удерживать масло из-за недостаточности масляного слоя. При

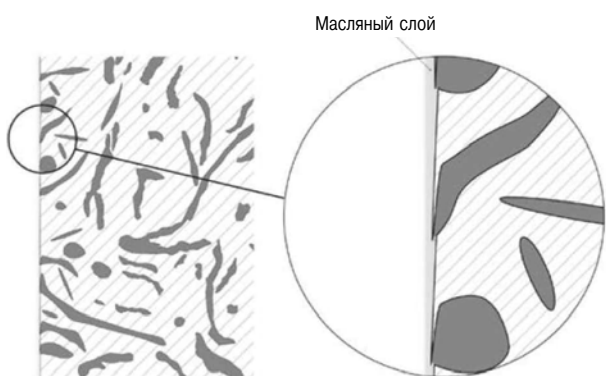


Рис. 9. Поперечное сечение поверхности цилиндровой втулки в состоянии «заволакивания» (втулка зеркально отполирована)

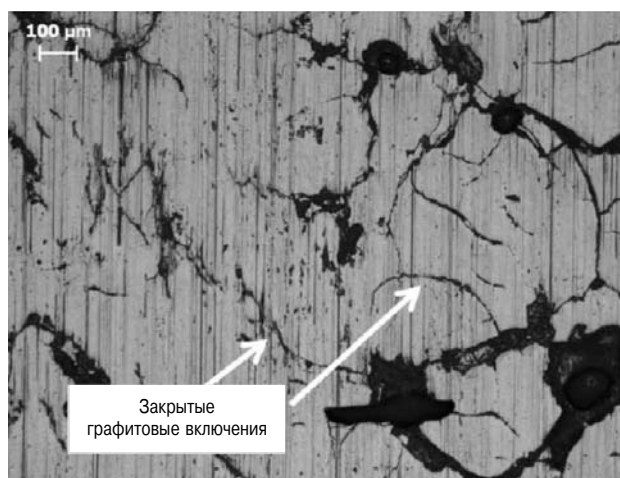


Рис. 10. Микроструктура поверхности цилиндровой втулки двигателя 6L60MC, проработавшего длительное время на топливе <0,1 % S



Рис. 11. «Отполированная» поверхность той же цилиндровой втулки двигателя 6S60MC

повреждении масляного слоя резко возрастает трение между чугунными поршневыми кольцами и чугунной цилиндровой втулкой, что приводит к схватыванию (задирам). Это сопровождается закалкой поверхности втулки. Закаленный слой необходимо удалить путем механической обработки, после чего новый комплект поршневых колец должен пройти приработку.

Следует заметить, что поверхность может приобретать блеск также при малой скорости износа втулки, когда графитовые включения открыты, благодаря чему способность поверхности к удержанию масла сохраняется, тогда необходимо повторное исследование поверхности, чтобы определить причину ее блеска — полировка или просто малый износ.

Опыт эксплуатации

Как показывает опыт эксплуатации (недолгий), при работе на топливе <0,1 % S скорость износа чрезвычайно мала, что способствует повышению ресурса деталей. Большинство судов работают в зонах SECA лишь в течение коротких периодов времени, поэтому статистика отказов весьма скудна.

До вступления в силу ограничения на предельно допустимое содержания серы 0,1 % в зонах SECA 1 января 2015 г., фирма «MAN Diesel & Turbo» выпустила рекомендацию о переходе на low-BN масло одновременно с переключением на топливо с содержанием серы менее 0,1 %. При возвращении к сернистому топливу происходит обратное переключение на high-BN масло [4]. Согласно отчетам о контролируемых эксплуатационных испытаниях и общим отзывам такое решение оказалось вполне безопасным и надежным.

Проверка возможности кратковременного использования high-BN масла при работе двигателя на топливе <0,1 % S показала, что исправный

двигатель может безопасно выдерживать такую процедуру в течение примерно 250 моточасов. Однако для получения более надежных результатов и обоснованных рекомендаций необходимы дальнейшие испытания.

На двигателях части судов, работающих в зонах SECA длительное время (причем большая их часть уже находилась там до перехода на 0,1 % S) наблюдалась проблема «полировки» цилиндрических втулок и появления задиоров на их поверхности.

Продолжаются испытания и сбор информации по эксплуатации двигателей, работающих на топливе с содержанием серы менее 0,1 %. Особенно тщательно контролируется работа на новых видах топлива: LNG, этан, и метанол.

Совершенствование и испытания low-BN масел

Создание цилиндрических масел, пригодных для продолжительной работы на топливах, содержащих менее 0,1 % S — долгий процесс, в ходе которого был разработано, испытано и оценено большое число различных составов. Все участники этого процесса хотели услышать готовые оценки, чтобы можно было продолжить работу как над компонентами смазки, так и над организацией испытаний. Дело осложняется тем, что число судов, работающих с топливами 0,1 % S и доступных для проведения испытаний, весьма ограничено. К моменту публикации настоящего доклада (весна 2016 г.) существовало несколько типов готовых цилиндрических low-BN масел с разными значениями BN (15–25 BN).

Отделение двухтактных двигателей «MAN Diesel & Turbo» принимает активное участие в создании low-BN масел в форме проведения, поддержки и оценки результатов на разных двигателях. Длительные испытания цилиндрического масла в условиях эксплуатации (предпочтительно на двигателях разных типов) представляют собой контрольные испытания, которые должны показать, обладает ли данное масло необходимыми характеристиками и качеством для того, чтобы удовлетворить соответствующие требования.

Основное внимание — механизму образования отложений

Low-BN масло, как и любое другое цилиндрическое масло, должно обладать смазывающим действием и способностью формировать масляный слой, достаточный для защиты движущихся частей. Его щелочность должна быть достаточной для нейтрализации кислот, которые могут формироваться внутри камеры сгорания. Однако придание маслу моющих свойств, достаточных для эффективного предотвращения отложений на днище поршня, в канавках и на поршневых кольцах, является непростой задачей.

Программа испытаний low-BN масел была направлена на исследование механизма образования отложений. Для этого понадобилась разделенная система смазки, в которой часть цилиндров смазывается тестируемым маслом, а остальные цилиндры — эталонным маслом. Есть несколько способов такого разделения. В начале испытаний вынимаются, как минимум, два поршня, на них меняются кольца, при этом в начале и в конце испытаний документируется состояние отложений, включая фотоснимки цилиндрической втулки и других деталей цилиндропоршневой группы.

Несмотря на то, что решены далеко не все вопросы, связанные с образованием отложений, новые масла намного превосходят low-BN масла первых поколений, которые не пошли в серию.

Моторные испытания

В программе отбора low-BN масел был задействован опытный двигатель «MAN Diesel & Turbo» типа 4T50ME-X, находящийся на опытном моторном стенде в Копенгагене (Дания). С использованием разделенной системы смазки, были проведены испытания более двадцати сортов масла в сравнении с маслом 40 BN, принятым за эталон.

Кроме того, более десяти сортов масла были испытаны на стендовых двигателях ME-GI. Еще



Рис. 12. Эксплуатационные испытания цилиндрических масел — новые low-BN масла после 1000 ч работы на дистилляте 0,1 % S (поверхность канавок — чистая)



Рис. 13. Эксплуатационные испытания цилиндрических масел — новые low-BN масла после 1000 ч работы на дистилляте 0,1 % S (обратная сторона поршневых колец — чистая)

целый ряд масел различных производителей был испытан в эксплуатационных условиях на судовых двигателях, работающих на топливе 0,1 % S. Результаты эксплуатационных испытаний наиболее удачных вариантов low-BN цилиндрических масел представлены на рис. 12 и 13.

Испытания масел на двигателях в условиях эксплуатации являются решающими, поэтому в них приняли активное участие все основные производители двигателей и смазок. Однако процесс разработки и доводки low-BN масел далек от завершения, поэтому «MAN Diesel & Turbo» продолжает работы с целью дальнейшего совершенствования технико-экономических показателей создаваемых масел.

Системы подачи масла

Фирмой «MAN Diesel & Turbo» созданы две новые системы подачи цилиндрического масла, обеспечивающие оптимизацию смазки цилиндров путем переключения на два типа масла или их смешивание.

Система автоматического переключения подачи цилиндрических масел ACOS (Automated Cylinder Oil Switching)

Система ACOS обеспечивает автоматическое переключение на два типа масла по оптимальному алгоритму и является штатной для двигателей типа ME-GI, работающих в двухтопливном (SDF — Specified Dual Fuel) режиме [10].

Система ACOS осуществляет переключение подачи в цилиндры low-BN и high-BN масел в зависимости от содержания серы в топливе, используемом в данный момент. Схема системы ACOS показана на рис. 14.

Величина S_e (эквивалентная сера) рассчитывается системой управления двигателя ME ECS (Engine Control System) по значениям:

- > содержания серы в жидком топливе;
- > содержания серы в газе;

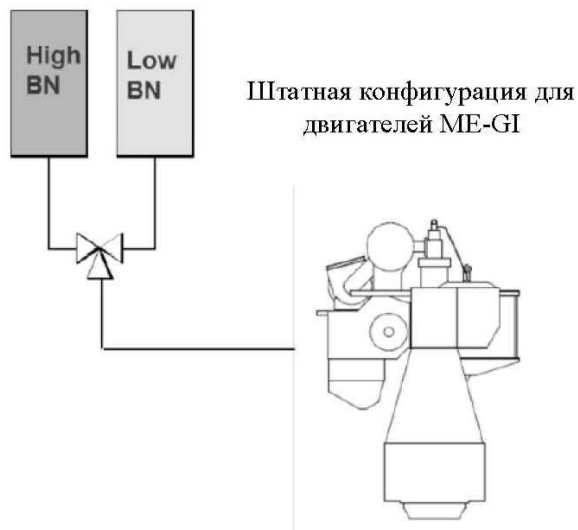


Рис. 14. Схема системы ACOS

> долей обоих видов топлива в их смеси, используемой в данный момент.

Доля каждого вида топлива зависит от заданного скоростного режима работы, располагаемого количества газа и нагрузки двигателя.

Данные о содержании серы в обоих видах топлива вводятся в систему управления двигателем через главный пульт управления (MOP — main operating panel), как и расходы обоих видов цилиндрических масел — low-BN и high-BN. Затем система автоматически переключает подачу между low-BN и high-BN маслами и устанавливает необходимый расход при различных значениях S_e . При любом отказе системы ACOS трехходовой клапан автоматически устанавливается в аварийное положение, соответствующее подаче high-BN масла.

Типы цилиндрических масел для двигателей ME-GI

К цилиндрическим маслам для двигателей ME-GI не выдвигается каких-либо специальных требований по воспламеняемости, содержанию серы, зольности и т. п., как это имеет место для двигателей, работающих на бедной смеси. Это объясняется тем, что в двигателе ME-GI используется тот же принцип зажигания, что и в двигателе ME (самовоспламенение от сжатия), и это значит, что преждевременное зажигание (детонация) не возникает.

ACOM (система автоматического смешивания масла)

Каждый тип цилиндрического масла обычно оптимизируется для определенного диапазона содержания серы. Суда, двигатели которых могут работать на топливах с любым содержанием серы (от 0 до 1,0–2,0–3,5 %), для обеспечения эффективной смазки при низких расходах должны иметь запасы цилиндрических масел нескольких типов.

Разработанная система автоматического смешивания цилиндрических масел (ACOM) служит для смешивания двух видов цилиндрического масла с целью получения нужного BN, соответствующего содержанию серы в топливе. Это позволяет оператору существенно снизить расход (подачу) цилиндрического масла. Система схематически изображена на рис. 15.

Эта идея, впервые сформулированная еще в 2002 г., только сейчас получила реальное воплощение. В настоящее время границы возможного содержания серы в топливах и возможного BN цилиндрического масла намного расширились, что и послужило причиной ускоренного внедрения ACOM.

Система приводит BN цилиндрического масла в соответствие с содержанием серы в топливе. Это дает следующие преимущества:

- > при работе на высокосернистом топливе

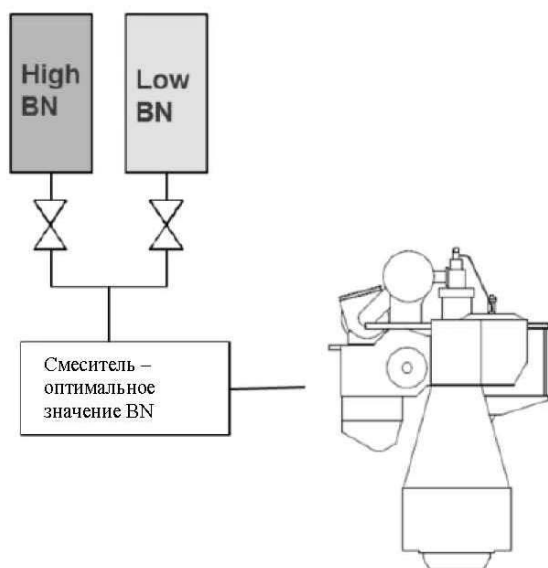


Рис. 15. Система АСОМ для смешивания high-BN и low-BN масел для получения BN, соответствующего содержанию серы в топливе

двигатель может использовать high-BN масло с минимальной подачей;

➤ при работе на топливе с меньшим содержанием серы двигатель может использовать масло с оптимальным BN, достаточным, с одной стороны, для предотвращения коррозии, с другой — для поддержания оптимальной структуры поверхности цилиндрической втулки с открытыми графитовыми включениями.

Это подтверждается многочисленными примерами из опыта эксплуатации двигателей, имевших склонность к коррозии. С точки зрения как техники, так и экономики выгоднее использовать для смазки малое количество high-BN масла, нежели большее его количество с меньшим значением BN.

При смешивании можно получить масло с нужным щелочным числом — от low-BN до high-BN. При этом моющая способность и диспергируемость полученного масла всегда будет сохраняться на самом высоком уровне, а его вязкость будет равна рекомендованной, т. е. SAE 50.

Концепция смешивания масел проиллюстрирована на рис. 16. Масло 25 BN смешивается с маслом 100 BN, а рекомендованный уровень BN смеси соответствует содержанию серы в топливе для известного АСС-фактора (фактора расхода). При изменении АСС-фактора наклон характеристики меняется. Для смесей с щелочным числом от 25 до 100 BN величина расхода поддерживается минимальной. При работе на топливе, содержание серы в котором требует масла с щелочным числом выше 100 BN, подача масла должна быть увеличена согласно известному

соотношению, выраженному следующим уравнением [11]:

$$\begin{aligned} \text{Подача цилиндрического масла} &= \\ &= \text{АСС-фактор} \times \%S_{\text{fuel}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\%S_{\text{fuel}}$ — процентное содержание серы в топливе.

Из графика также следует, что если щелочное число второго компонента окажется выше 100, двигатель сможет работать на топливе с еще более высоким содержанием серы. Поэтому было решено испытать масла 140 BN. Как показали расчеты, это дает хороший шанс производителям высокосернистых мазутов, поскольку позволяет не только снизить расход масла, но и предотвратить полировку зеркала цилиндра, так как при меньшем содержании серы в топливе система АСОМ позволяет уменьшить BN. Испытания системы АСОМ с маслом 140 BN продолжаются. Их первые результаты ожидаются к концу 2016 г.

Агрегат АСОМ должен заменить существующий нагреватель масла, установленный перед двигателем. Емкости со смешиваемыми компонентами имеют небольшой объем, что облегчает переход на масла с разными BN. Кроме того, система АСОМ позволяет подавать масло непосредственно в двигатель, устранив необходимость в расходных баках. Цель установки расходных баков — обеспечить двигатель суточным запасом масла, и эту функцию исполняет система АСОМ. Таким образом, система АСОМ может заменить нагреватель и оба расходных бака — для high-BN и low-BN масел.

Первые заводские испытания (FAT — Factory Approval Test) подтвердили способность системы АСОМ обеспечить заданные значения BN (рис. 17).

Первый агрегат АСОМ в настоящее время проходит испытания на танкере ледвейтом 26 000 тонн с главным двигателем 6S50ME-B8 производства MAN B&W. Испытания проводятся изготовителем

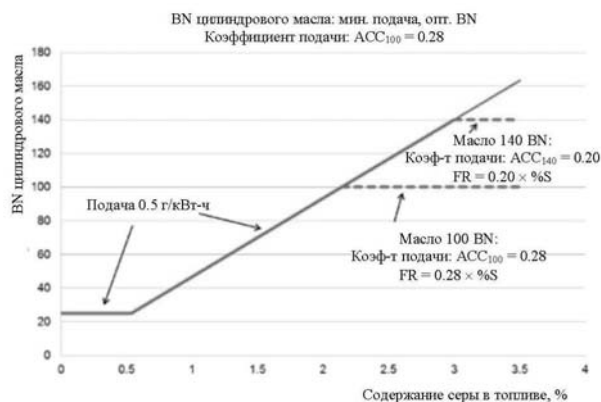


Рис. 16. Пример алгоритма смешивания масла в системе АСОМ (смешиваются масла 25 BN и 100 BN или 140 BN)

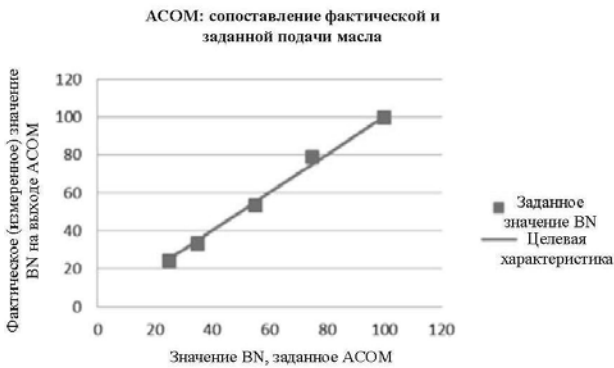


Рис. 17. Результаты испытаний системы АСОМ. Фактические значения BN соответствуют заданным

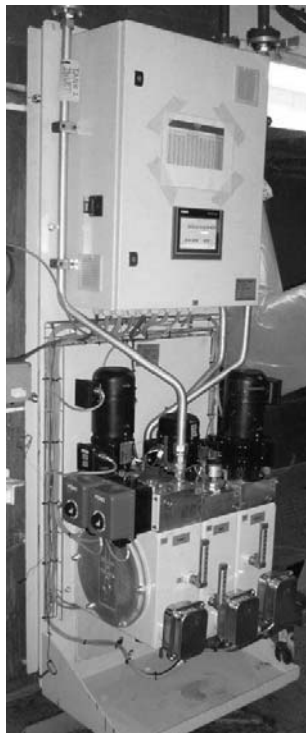


Рис. 18. Первая опытная установка АСОМ, проработавшая 6 месяцев без замечаний

двигателя совместно с судовладельцем и компанией «Shell». Система АСОМ безотказно отработала на судне шесть месяцев (рис. 18). Вторая система АСОМ также поставлена на эксплуатационные испытания с главным судовым двигателем 5S60ME-C8.2 MAN B&W. Эти испытания проводятся совместно с судовладельцем и компанией «Gulf Oil Marine».

Несколько систем АСОМ установлены на объектах в 2016 г., при этом будут испытаны различные сочетания low-BN и high-BN масел.

Существующая на сегодняшний день система является автономной. Требуемое значение BN оператор вводит вручную, следуя руководству по эксплуатации. На следующем этапе данный процесс будет автоматизирован. При этом регули-

руемым параметром будет не подача масла, как сейчас, а величина BN, задаваемая системой управления двигателем (ECS).

Компоненты

С целью снижения риска заеданий и задиrow в двигателях, работающих в течение длительного времени на топливах с содержанием серы менее 0,1 %, рекомендуется использовать такие компоненты, как кольцо очистки поршня, золотниковые клапаны регулирования топливоподдачи, поршневые кольца с металлокерамическим покрытием (cermet) на всех (трех или четырех) кольцах. При ремонте двигателя рекомендуется перешлифовка (в случае необходимости) зеркала цилиндра.

Кольцо очистки поршня (PC-ring)

Применение колец очистки поршня в значительной степени решает проблемы, вызываемые избытком отложений на днище поршня. Кольцо очистки поршня, диаметр которого меньше диаметра втулки, устанавливается между втулкой и крышкой цилиндра. Во время работы двигателя кольцо соскребает с верхней части поршня избыток скапливающихся там отложений, когда толщина слоя начинает превышать допустимую (рис. 19). Кольца очистки поршня стали штатной принадлежностью двигателей «MAN Diesel & Turbo» с начала 2000 г. [12].

Поршневые кольца с металлокерамическим покрытием (Cermet)

Металлокерамическое покрытие рекомендуется для всего комплекта поршневых колец двигателей, работающих на топливах с содержанием серы менее 0,1 %. В двигателях ME-GI, ME-GIE и ME-LGI такая комплектация является штатной.

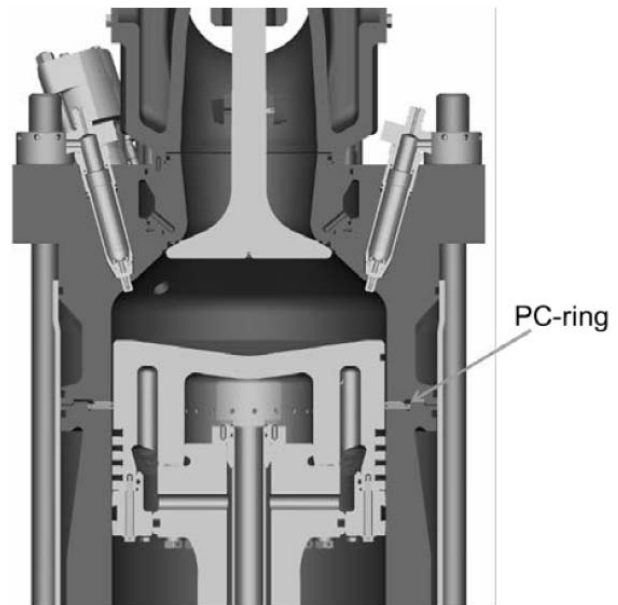


Рис. 19. Размещение кольца очистки поршня (PC-ring) между крышкой и втулкой цилиндра

Покрытие Cermet повышает устойчивость цилиндропоршневой группы к задирам. Данное покрытие является композитным, т. е. состоит частично из керамики, частично — из металла или сплава. Оно соединяет в себе лучшие качества керамики — высокую устойчивость к нагреву и твердость — с лучшими качествами металла, в частности, со способностью хорошо переносить пластические деформации. Покрытие Cermet состоит из слоя карбидов хрома (Cr_2C_3), наносимого методом плазменного напыления на субстрате из молибдена и хромоникелевого сплава (рис. 21).

При недостаточной смазке существует опасность локальной микросварки двух соприкасающихся поверхностей — поршневого кольца и цилиндровой втулки, в результате чего возможны задиры и заедание. Покрытие Cermet может предотвратить этот процесс благодаря хорошей температурной устойчивости карбида хрома и его высокой твердости, а также различию металлургических свойств обеих трущихся поверхностей.

Опыт применения

Опыт использования покрытия Cermet на всех поршневых кольцах двигателя 6S60MC MAN B&W, длительно работающего на дистиллятном топливе с содержанием серы 0,1 %, оказался вполне успешным. На двигателе, который проработал долгое время на дистилляте, были обнаружены такие явления, как значительные отложения, зеркальная поверхность втулки и многочисленные следы истирания движущихся деталей.

Доработка двигателя под требования нового стандарта, с РС-кольцами и золотниковыми клапанами, а также применение масла low-BN при минимальной подаче привели к значительным улучшениям.

С целью дальнейшего совершенствования двигателя фирма MAN Diesel & Turbo совместно с судовладельцем и поставщиком горюче-сма-

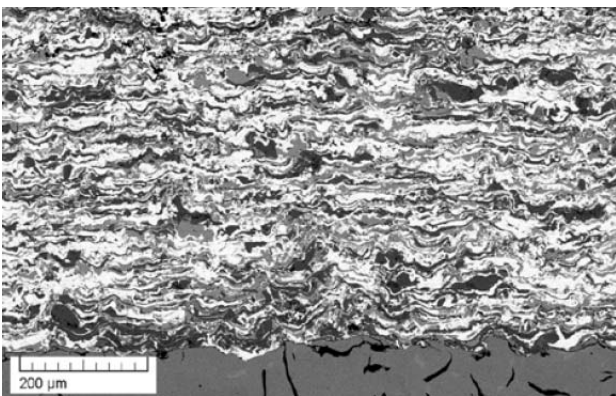


Рис. 21. Поперечный разрез покрытия Cermet, нанесенного плазменным напылением (микрофотография электронного микроскопа)

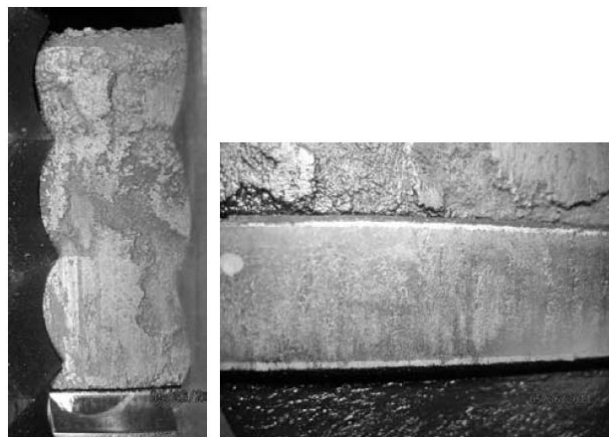


Рис. 21. Двигатель 6S60MC, проработавший долгое время на дистилляте (наблюдаются значительные отложения, зеркальная поверхность втулки и следы истирания движущихся деталей)

зочных материалов начала исследование по совершенствованию масел и компонентов.

Один из цилиндров был укомплектован полным набором поршневых колец с покрытием Cermet, другой — полным набором штатных поршневых колец с покрытием Alu-coat. Втулки обоих цилиндров оказались зеркально отполированными. Втулки остальных цилиндров недавно были восстановлены, и имели новую полухонингованную поверхность с волнистым профилем.

В ходе данных испытаний произошло случайное попадание воды в камеру сгорания. Это привело к дальнейшему ухудшению состояния полированных поверхностей цилиндрических втулок. В цилиндре, укомплектованном набором поршневых колец с покрытием Alu-coat, наблюдались задиры по всему периметру, что потребовало полной замены колец и втулки. В цилиндре, укомплектованном набором поршневых колец с покрытием Cermet, на последнем лишь появилась небольшая сетка тепловых трещин (рис. 23). Эти кольца были оставлены в двигателе для дальнейших испытаний еще на шесть месяцев,

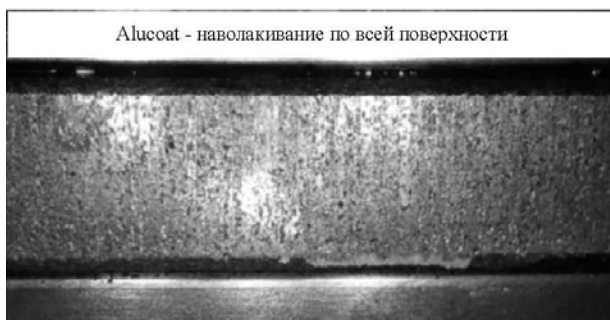


Рис. 22. Двигатель 6S60MC, проработавший долгое время на дистилляте с покрытием поршневых колец Alu-coat (кольца и цилиндровая втулка полностью изношены и требуют замены)

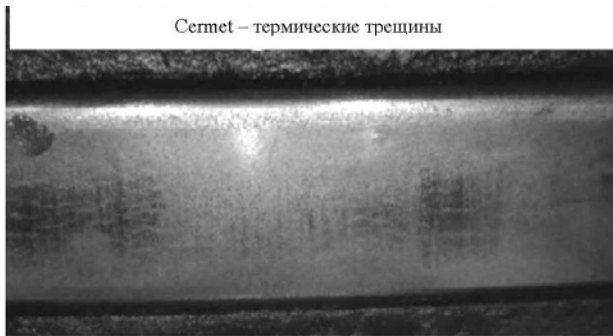


Рис. 23. Двигатель 6S60MC, проработавший долгое время на дистилляте с покрытием поршневых колец Cermet. (покрытие Cermet имеет незначительную сетку трещин)

после чего никаких дальнейших ухудшений зафиксировано не было.

Бортовой мониторинг

Успешность оптимизации смазки и улучшение состояния деталей цилиндропоршневой группы зависит от того, насколько точно удастся отслеживать рабочие условия, и насколько своевременно оператор реагирует на получаемую информацию.

Для контроля состояния деталей цилиндропоршневой группы в судовых условиях используются следующие инструменты:

- > анализ отработавшего масла;
- > инспекция продувочных окон;
- > измерение износов;
- > обследование зеркала цилиндра.

Анализ отработавшего масла

В нормальном режиме отработавшее масло стекает по стенкам цилиндра и отводится в специальный бак, т. е. используется однократно.

Забор масла для анализа осуществляется через сливное отверстие в днище картера. Анализ отработавшего масла может служить индикатором состояния деталей цилиндропоршневой группы.



Рис. 25. Отработавшее цилиндрическое масло: безопасная зона по критерию «BN/Железо» для масла 70 BN и топлива с содержанием серы менее 0,1 % [11, 4]

По результатам анализа можно определить необходимость принятия каких-либо мер. Такими мерами могут быть: изменение подачи и BN цилиндрического масла, удаление из топлива частиц катализатора.

Состояние деталей цилиндропоршневой группы определяется, главным образом, по следующим двум показателям: значение BN и содержание железа (Fe). Чтобы понять, какие меры следует предпринять, необходимо принимать во внимание оба фактора — BN и Fe. Чтобы параметры отработавшего масла оставались в безопасной зоне (рис. 24), рекомендуется поддерживать расход масла на оптимальном уровне.

Бортовое оборудование

На износ компонентов двигателя влияют рабочие параметры и внешние условия. Важная роль, с точки зрения непрерывности защиты двигателя, отводится работе бортового оборудования и оптимизации расхода цилиндрического масла.

Вместе с тем не следует полагаться только на показания бортового оборудования. Рекомендуется регулярно направлять пробы масла в лабораторию для анализа, чтобы быть уверенным в адекватной корреляции результатов обоих видов измерений.

Оценка уровня коррозионной опасности

Уровень BN в отработавшем масле — мера способности нейтрализовать кислоты. Низкий уровень BN свидетельствует о том, что нейтрализующая способность масла практически исчерпана. Высокий уровень BN говорит, скорее всего, о превышении оптимальных значений подачи цилиндрического масла или щелочного числа, в результате чего начнется рост отложений и возникнет риск полировки цилиндрической втулки.

При работе на топливе с содержанием серы менее 0,1 % нормальным следует считать BN на 5–10 единиц меньше исходного (т. е. BN свежего масла).

Оценка износа

Концентрация железа в отработавшем масле является индикатором износа поршневых колец и втулки. Чем она выше, тем выше износ.

Результаты разных анализов отражают разные виды износа (табл. 1). Анализ общего содержания железа характеризует все виды износа, так как при этом учитываются все железосодержащие элементы. При других видах анализа измеряется количество железа, образовавшегося в результате адгезионного или абразивного износа, в том числе «нормального» износа, а также износа под действием содержащихся в топливе частиц катализатора, микроскопических заеданий или задигов. В данном случае датчики реагируют на магнитный поток, создаваемый продуктами износа. Продукты износа, образующиеся в ре-

Таблица 1

Методы измерения различных продуктов износа

Вид износа	Механизм износа	Метод измерения		
		Общее железо	Магнитное железо	Железосодержащие продукты коррозионного износа
Нормальный износ Частицы катализатора Микросхватывание Задиры	Абразивный или адгезионный износ	+	+	–
Холодная коррозия	Коррозионный износ		–	+

зультате холодной коррозии, являются оксидами железа, не имеющими магнитных свойств. Методы измерения продуктов износа такого рода в судовых условиях основаны на химических реакциях.

Результаты могут зависеть от метода измерений, поэтому к их оценке следует подходить с осторожностью. Если магнитный метод показал присутствие железа в масле, такой анализ следует дополнить измерением VN отработавшего масла, чтобы проверить, возникли ли продукты износа в результате холодной коррозии или же в результате, например, нормального износа. Низкое значение VN является вероятным признаком холодной коррозии, следовательно, требуется либо увеличение расхода масла, либо замена масла на другое, с более высоким значением VN. Слишком большое значение VN может свидетельствовать о наличии значительных отложений. В этом случае следует снизить расход цилиндрического масла, либо перейти на масло с более низким значением VN. При работе на топливе с содержанием серы менее 1 % нормой считается показатель общего железа порядка 50–100 ppm.

Инспекция продувочных окон

Визуальный осмотр цилиндров через продувочные окна дает полезную информацию о состоянии цилиндров, поршней и поршневых колец. Полезную информацию могут дать также измерения толщины покрытия поршневых колец (при их наличии) и канавок. Регулярные осмотры помогают заметить изменения в состоянии деталей цилиндропоршневой группы.

При работе на топливе с содержанием серы менее 1 % особое внимание следует уделять чистоте двигателя. Особо тщательно необходимо осматривать поршневые кольца, поскольку наличие на них микрочастиц — первый признак плохой смазки и, возможно, полировки цилиндрической втулки.

Более подробную информацию и рекомендации можно найти в пользовательских руководствах [13].

Измерение износов

При регулярных осмотрах двигателя следует измерять износы цилиндрической втулки, поршневых колец и канавок. Результаты измерений износов должны храниться в памяти судовой системы техобслуживания. Рекомендуется проводить измерения износов регулярно, чтобы можно было оценить эффективность работы систем смазки и очистки топлива. Кроме того, на основании результатов этих измерений можно оценивать оставшийся ресурс компонентов и

планировать сроки переборки двигателя.

Осмотр цилиндрической втулки

Во время техобслуживания двигателя, включающего его разборку, рекомендуется осматривать поверхность цилиндрической втулки. Нормальная поверхность цилиндрической втулки должна быть слегка матовой, с легкими следами потертостей.

При работе на топливе с содержанием серы менее 0,1 % поверхность цилиндрической втулки может стать гладкой и блестящей. Отполированная поверхность восстанавливается легким хонингованием для вскрытия графитовых включений, или обработкой с созданием волнистого рельефа и полухонингованием, чтобы восстановить способность поверхности втулки удерживать достаточное количество масла [6].

Более подробное исследование состояния втулки, включая фотографирование поверхности и последующее микрофотографирование может быть выполнено «MAN Diesel & Turbo PrimeServ» по запросу заказчика [14].

Заключение

По мнению «MAN Diesel & Turbo», в будущем на рынке будет представлен широкий ассортимент морских топлив. В их число входят топлива с содержанием серы 0,5 %, дистилляты, ULSFO и LNG.

Двухтактные двигатели MAN B&W обеспечивают возможность безопасной, надежной и экономичной работы на топливах с содержанием серы менее 0,1 % S. Проблемы отложений могут быть решены за счет использования цилиндрических масел с небольшим содержанием присадок, способствующих образованию отложений, и высокой моющей способностью (low-BN масла), а также за счет работы с минимально рекомендуемой подачей цилиндрического масла.

Для продолжительной работы на топливах с содержанием серы менее 0,1 % рекомендуется использовать полный комплект поршневых колец с металлокерамическим покрытием Cermet. Покрытие Cermet уменьшает риск возникновения задиров при недостаточной смазке.

Две новые системы подачи цилиндрического масла созданы с целью упрощения и оптимизации смазки цилиндров. Это система подачи двух типов масла (ACOS) или система смешивания (ACOM). Эти системы помогут оптимизировать процесс смазки как с точки зрения достижения высоких технических показателей, так и для снижения затрат.

Необходим постоянный тщательный мониторинг состояния цилиндропоршневой группы, позволяющий своевременно реагировать на возникающие проблемы.

Литература

1. www.imo.org. MARPOL Annex VI; Sulphur oxides (SO_x) — Regulation 14.
2. Ship & Bunker. Ship & Bunker Update: China to implement ECA's from 2019, at berth regs from 2017. Shipandbunker.com. [online] [Cited: 18 January 2016]. <http://shipandbunker.com/news/apac/991308-update-china-to-implement-ecas-from-2019-at-berth-regs-from-2017>.
3. DNVGL. DNVGL, China introduces sulphur requirements for marine fuels. www.dnvgl.com. [Online] [Cited: January 18, 2016.] <https://www.dnvgl.com/news/china-introduces-sulphur-requirements-for-marine-fuels-50359>.

4. MAN Diesel & Turbo. SL2014-593 Guidelines For Operation On Fuels With Less Than 0,1 % Sulphur. Copenhagen. MAN Diesel & Turbo, 20

5. MAN Diesel & Turbo. SL2015-604 Lubricating Oils for MAN B&W Low Speed Two-Stroke Engines. Copenhagen. MAN Diesel & Turbo, 2015.

6. Rolsted, H. & Fogh, J. Development of Piston Ring Packs and Cylinder Liners — Viewpoint of Tribology. Journal of the JIME, Vol. 44, № 3. 2009.

7. Jacobson S. The role of sulphur in material performance of current HFO engines. Deliverable D9.1 in the Helios project under EU.

8. Davies F.A., Moore A.J., Pridemore S. The use of a laboratory wear simulation technique for the development of marine cylinder lubricants. BP, UK. Paper D82, CIMAC 1993.

9. Cook S., Mayhew A. Lowering Lube Oil Cost and improving performance through use of Marine Emulsion Lubricants in 2 Stroke Crosshead Engines. Lubrizol, UK. Paper 37. CIMAC 2004.

10. MAN Diesel & Turbo. ME-GI Dual Fuel MAN B&W Engines. A technical, operational and cost-effective solution for ships fueled by gas. 5510-0063- 06ppr Aug 2014.

11. MAN Diesel & Turbo. SL2014-587 Cylinder Lubrication Update - Adjusting the ACC Factor in Service. Copenhagen. MAN Diesel & Turbo, 2014.

12. MAN Diesel & Turbo. SL00-384 Cylinder Condition — MC Engines. Copenhagen. MAN Diesel & Turbo, 2000.

13. MAN B&W Operation Manuals. www.marine.man.eu, NEXUS (Customer Extranet)

14. Cat Fines — Surface Replica Service. MAN Diesel & Turbo, Feb. 2009. 3010-0047-00ppr.

НОВОСТИ ЧТЗ

Техника ЧТЗ для Сургута

ЧТЗ отгрузил 42 трактора крупному корпоративному заказчику — компании «Сургутнефтегаз». Предприятие ежегодно поставляет добытчикам углеводородов крупные партии машин. На этот раз заказчик предпочел технику с гидромеханической трансмиссией и дизелями ЯМЗ. В их число вошли 19 бульдозеров модели Б12, 12 машин модели Б10М и 9 болотоходных агрегатов с поворотным отвалом. Два трактора-тягача-болотохода оборудованы механической трансмиссией и двигателем типа Д-180 производства ЧТЗ.

По требованию заказчика машины дополнительно оснащены автономными отопителями типа «Вебасто», внутренняя сторона капота защищена специальным утеплителем-шумопоглотителем, поскольку тракторам предстоит работать при температуре минус 40–45 °С. Крыши кабин оборудованы увеличенными люками для того, чтобы можно было быстро покинуть машину в аварийной ситуации.

Предпродажную подготовку и запуск техники в эксплуатацию будет осуществлять дилер ЧТЗ — предприятие «Уралтраккомплект». Большая часть



машин будет работать на гидронамыве песка — таким способом его добывают, чтобы затем использовать при строительстве и обустройстве площадок под буровые. Около трети поставленной техники предназначена для работы по строительству и благоустройству дорог.

Все 42 машины из этой партии распределены по подразделениям «Сургутнефтегаза», работающим на территории Ханты-Мансийского автономного округа.

Пресс-служба ЧТЗ

УРАЛВАГОНЗАВОД НАРАЩИВАЕТ ВЫПУСК ГРАЖДАНСКОЙ ПРОДУКЦИИ



В рамках рабочей поездки в Челябинскую область генеральный директор корпорации «Уралвагонзавод» Александр Потапов провел на площадке ЧТЗ совещание с руководителями предприятий интегрированной структуры УВЗ о перспективах развития производства гражданской продукции.

Открывая совещание, Александр Потапов напомнил присутствующим о задаче, которая поставлена перед предприятиями оборонно-промышленного комплекса руководством страны по увеличению доли гражданской продукции в общем объеме выпуска.

«Государство инвестировало в создание новых технологий производства продукции военного назначения огромные средства. Эти технологии должны работать и в гражданском секторе. Объем государственного оборонного заказа неизбежно будет снижаться при выполнении задач по модернизации Вооружённых Сил России. При этом конверсия оборонных мощностей для выпуска гражданской продукции позволит обеспечить устойчивую работу предприятий ОПК. Эффективно проведенная диверсификация способна кратно умножить эффект от государственных инвестиций, поэтому к развороту оборонно-промышленного комплекса в сторону гражданского производства следует готовиться сегодня, формулируя новую стратегию работы», — отметил в своем выступлении генеральный директор корпорации Уралвагонзавод.

Одно из направлений диверсификации - развитие производства дорожно-строительной техники. Центром компетенций корпорации в этой

сфере по-прежнему будет Челябинский тракторный завод, который стал площадкой для проведения совещания. Предприятие готовит к выходу на рынок свои технические «премьеры», среди которых бульдозер класса 10 собственной разработки. Серьезную конкуренцию зарубежной технике составят и дизель-электрические тракторы 20 и 25 тонн тяги с инновационной электромеханической трансмиссией. Преимуществами этих агрегатов являются высокая маневренность, производительность, а также невысокая трудоемкость изготовления. В новый сегмент рынка откроет дорогу трубоукладчик грузоподъемностью 40 тонн.

О том, что «перезагрузка» промышленных мощностей уже началась, говорили и другие участники совещания. Сложившаяся сегодня конъюнктура рынков гражданской продукции способствует успешному выполнению задач диверсификации производства.

После совещания Александр Потапов посетил цеха Челябинского тракторного завода, а также встретился с ректором Южно-уральского государственного университета Александром Шестаковым. Стороны обсудили направления сотрудничества в области обеспечения промышленности квалифицированными специалистами. От уровня подготовки новых инженерно-технических работников, соответствия полученных ими в процессе обучения знаний реальным потребностям предприятий, во многом зависит эффективность российской промышленности, ее развитие и конкурентоспособность.

Пресс-служба ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК»



**21 июля 2017 года исполнилось 75 лет
председателю предметной комиссии
«Технология машиностроения»
Невского машиностроительного техникума
кандидату технических наук
Евгению Павловичу Булату**

Евгений Павлович Булат (Седельников) родился в день Святого Прокопия Праведного — 21 июля военного 1942 г. в Великом Устюге, городе, мореплавателей Семена Дежнева, Никиты Шелагурова, Владимира Атласова, ныне — «родине «Деда Мороза».

Еще учеником школы им. А.И. Герцена был награжден медалью Всесоюзной сельскохозяйственной выставки СССР за большой урожай кукурузы, выращенный на школьном участке. В школе освоил вождение грузового автомобиля и токарное дело, получив 2-й разряд токаря.

После окончания школы сначала работал токарем на Ленинградском заводе «Красный Октябрь», затем поступил в Ленинградский политехнический институт имени М.И. Калинина, где активно участвовал в студенческом научном обществе (СНО) в качестве председателя занимаясь исследованиями процессов обработки жаропрочных сплавов, совершенствованием технологий горячей объемной штамповки.

После окончания института работал мастером в кузнечном цехе Коломенского завода тяжелых станков, затем инженером в кузнечно-штамповочном цехе строящегося Ленинградского завода турбинных лопаток. Навыки, полученные в студенческие годы в СНО, способствовали профессиональному росту сначала в должности начальника конструкторско-технологического бюро, затем начальника экономической лаборатории, начальника отдела технического обучения.

С февраля 1968 г. работу на Заводе турбинных лопаток Е.П. Булат совмещал с преподаванием в Невском машиностроительном техникуме, Институте сервиса и дизайна и других вузах Ленинграда.

В течение двадцати лет был ученым секретарем Комитетаковки и горячей штамповки Научно-технического общества машиностроения, где

совместно с Домом научно-технической пропаганды организовывал научные семинары и занимался изданием технической литературы по Машиностроению.

В 1982 г. успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по исследованию процессов горячей объемной штамповки. Этим процессам и технологиям обучал индийских и китайских специалистов, командированных на Ленинградский металлический завод для повышения квалификации. За активное участие в рационализаторской и изобретательской работе Е.П. Булату было присвоено звание «Заслуженный изобретатель СССР».

В 1998 г. Е.П. Булат был приглашен на работу в Инженерный физико-технический колледж, и по совместительству преподавателем Военного инженерно-технического университета ВИТУ. В 2003 г. был избран на должность доцента кафедры ВИТУ, где до 2015 г. готовил высококвалифицированных специалистов в интересах Министерства Обороны Российской Федерации.

До настоящего времени Е.П. Булат продолжает преподавательскую деятельность в Невском машиностроительном техникуме.

Научные достижения Е.П. Булата сформулированы в 30 печатных научных работах и многочисленных патентах на изобретения.

Хобби Евгения Павловича Булата — изготовление различных берестяных изделий, с которыми он постоянно участвует в выставках народного творчества.

*Командование ВИ(ИТ)
и редакция журнала «Двигателестроение»
поздравляют Евгения Павловича Булата
с юбилеем и желают ему крепкого здоровья,
долголетия и плодотворной работы в научной
и преподавательской деятельности.*

УДК 621.43

Юбилейная научно-техническая конференция, посвященная 75-летию кафедры двигателей и тепловых установок Военного института (инженерно-технического) Военной академии МТО им. генерала армии А.В. Хрулева // Двигателестроение. — 2017. — № 2. — С. 3–6.

Ключевые слова: Военный институт (инженерно-технический), кафедра двигателей и тепловых установок, юбилейная научно-техническая конференция, научные работы и достижения, возрождение научных школ.

16 мая 2017 г. кафедра двигателей и тепловых установок Военного института (инженерно-технического) Военной академии МТО им. генерала армии А.В. Хрулева отметила 75 лет со дня основания проведением научно-технической конференции «Современное состояние и повышение энергетической эффективности теплосиловых и теплогенерирующих установок объектов МО РФ». Тематическая направленность докладов участников включала обзор основных научных работ и достижений ученых, работающих на кафедре в различные периоды времени и предложения по возрождению и развитию научных школ в области совершенствования российской военной энергетики. Ил. 3.

УДК 621.436

Кулешов А.С., Фадеев Ю.М., Кулешов А.А. Развитие многозонных моделей для расчета сгорания в современных ДВС // Двигателестроение. — 2017. — № 2. — С. 7–10.

Ключевые слова: поршневые ДВС, топливный факел, многозональная модель, тепловыделение, моделирование кинетики образования вредных веществ.

Представлены основные направления совершенствования программного комплекса ДИЗЕЛЬ-РК, разработанного в МГТУ им. Н.Э. Баумана для моделирования рабочего процесса и кинетики образования вредных веществ в цилиндре дизеля. Традиционная модель смесеобразования и сгорания топлива была улучшена в направлениях расчета скорости испарения топлива и тепловыделения в характерных зонах многозональной модели развития топливной струи с учетом взаимного влияния топливных факелов в объеме камеры сгорания. Ил. 6. Библ. 7.

УДК 621.431

Гришин Ю.А. Взаимодействие импульсов нестационарного течения потока газов с турбиной // Двигателестроение. — 2017. — № 2. — С. 11–14.

Ключевые слова: поршневые ДВС, газотурбинный наддув, импульсная осевая турбина, безотрывное течение газа, предельные углы атаки.

Разработана и экспериментально апробирована методика расчета отрывных потерь на входе потока отработавших газов в лопаточный аппарат рабочего колеса осевой импульсной турбины агрегата наддува ДВС. Расчетным путем определены значения предельных углов атаки, обеспечивающих безотрывное течение импульсного газового потока на входе в рабочее колесо турбины. Выполнены расчеты отрывных потерь, для турбокомпрессоров транспортных ДВС типов ТКР-8,5, ТКР-11, ТКР-14. Ил. 5. Библ. 7.

УДК 621.43.052

Ципленкин Г.Е., Иовлев В.И., Коженков А.А. Развитие систем двухступенчатого наддува двигателей // Двигателестроение. — 2017. — № 2. — С. 15–22.

Ключевые слова: поршневые двигатели, системы двухступенчатого наддува, снижение вредных выбросов, управляемые системы перепуска отработавших газов и наддувочного воздуха, рециркуляция отработавших газов. Выполнен обзор и анализ направлений развития систем двухступенчатого наддува (ДСН) четырехтактных и двухтактных двигателей различного применения. Показано, что системы ДСН для четырехтактных среднеоборотных двигателей ведущих мировых производителей несмотря на различное конструктивное исполнение, достаточно эффективны для

одновременного улучшения рабочих параметров и снижения выбросов вредных веществ до уровня требований перспективных стандартов (продолжение обзора). Табл. 3. Ил. 18. Библ. 8.

УДК 621.43.052

Коженков А.А. Моделирование динамики роторных систем турбокомпрессоров с подшипниками скольжения // Двигателестроение. — 2017. — № 2. — С. 23–28.

Ключевые слова: турбокомпрессоры, роторные системы, подшипники скольжения, демпфирование вибрации ротора, моделирование динамики в различных системах координат.

Рассмотрены методические и прикладные аспекты моделирования динамики роторных систем турбоагрегатов с подшипниками скольжения. Приведены результаты численного анализа и оптимизации конструкции роторной системы серийного турбокомпрессора. Спроектированы подшипники скольжения, обеспечивающие демпфирование вибрации ротора при высоких скоростях вращения. Даны рекомендации по постановке и способам решения задач роторной динамики. Показано, что наиболее достоверные результаты расчета могут быть получены при использовании редуцированного описания ротора в неподвижной системе координат. Применение вращающихся систем координат целесообразно при решении задач модального анализа динамики роторных систем. Табл. 1. Ил. 9.

УДК 629.351-242:621.43

Снарский С.В., Гаффаров Г.Г., Гаффаров А.Г., Коваленко С.Ю. Повышение надежности двигателей ПАО КамАЗ за счет оптимизации термонапряженного состояния деталей цилиндропоршневой группы // Двигателестроение. — 2017. — № 2. — С. 29–33.

Ключевые слова: двигатели КамАЗ, эксплуатационная надежность, система вентиляции картера, дефект «выброс масла», сопряжение гильза цилиндра–блок цилиндров, неоптимальное термонапряженное состояние.

Представлены результаты исследований, направленных на повышение эксплуатационной надежности двигателей КамАЗ 740.354-450 за счет исключения дефекта «выброс масла» через трубу вентиляции картера двигателя в атмосферу. Установлено, что причина дефекта состоит в неоптимальном термонапряженном состоянии деталей цилиндропоршневой группы, вызванном образованием тяжелого натяга верхнего посадочного пояса гильзы в блоке цилиндров. Предложен комплекс мероприятий по устранению причин указанного дефекта. Ил. 1. Библ. 4.

УДК 621.43

Новые тенденции в создании смазок для дизелей (материалы конгресса SIMAC-2016) // Двигателестроение. — 2017. — № 2. — С. 34–57.

Ключевые слова: судовые дизели, зоны контроля выбросов, малосернистые топлива, загустители смазки, новые цилиндрические масла, результаты эксплуатационных испытаний. Рассмотрены новые тенденции в создании смазок для дизелей, связанные с радикальным ограничением содержания серы в моторном топливе для судов, работающих в «зонах регулируемых выбросов» (ЕСА). Для работы на малосернистых топливах фирма «Chevron Oronite» предлагает варианты альтернативных загустителей смазки для регулирования вязкости судовых смазочных масел. Фирма MAN B&W отмечает, что при работе на малосернистых топливах, сжиженном природном (LNG) и нефтяном газе (LPG) исчезает целесообразность применения щелочных присадок вследствие риска образования на стенках камеры сгорания отложений и возникновения задиров. Приводятся результаты испытаний новых цилиндрических масел в лабораторных и эксплуатационных условиях.

Перевод выполнен к.т.н. Г. Мельником

Табл. 5. Ил. 35. Библ. 23.

UDC 621.43

Jubilee Scientific & Technical Conference Held on the Occasion of the 75th Anniversary of "Reciprocation Engines & Power Plants" Department of Military Institute of Railway Armies and Military Transport of Military Academy of Logistics and Transport Named After General A.V. Khrulev // Dvigatlestroyeniye. — 2017. — № 2. — P. 3–6.

Keywords: Military Engineering Institute, "Reciprocation Engines & Power Plants" department, jubilee scientific & technical conference, R&D works, achievements, revival of scholar schools.

Scientific & technical conference «Performance of power plants owned by RF army: current status and improvement prospects», was held on the occasion of the 75th anniversary of «Reciprocation engines & power plants» department of military institute of railway armies and military transport of military academy of logistics and transport named after general A.V. Khrulev. Scope of papers presented included the review of most important R&D works and achievements of the departmental scientists, proposals on ways of revival and further development of scholar schools related to military power plants' performance. 3 ill.

UDC 621.436

Kuleshov A.S., Fadeev Yu.M. and Kuleshov A.A. Development of Multizonal Combustion Models as Applied to Modern Reciprocating Engines // Dvigatlestroyeniye. — 2017. — № 2. — P. 7–10.

Keywords: reciprocating engines, fuel spray, multizonal model, heat release, modelling of noxious substance release kinetics.

The article presents principal ways of improvement of DIESEL-RK code developed by Bauman Moscow State University for modelling of combustion process and noxious substance release kinetics. Improvements of conventional model of mixing mainly relate to analysis of fuel evaporation and heat release rates in characteristic zones of multizonal model, taking account of fuel jets interference inside the combustion chamber. 6 ill., 7 ref.

UDC 621.431

Grishin Yu.A. Interaction Between Nonstationary Gas Flow Pulses and Turbine Internals // Dvigatlestroyeniye. — 2017. — № 2. — P. 11–14.

Keywords: reciprocating engines, turbocharging, axial flow action turbine, no-separation flow, critical incidence angle.

Presented is newly-developed and test-verified method for calculation of flow separation losses at the entrance of exhaust gas to action turbine wheel blade row. The method enables calculation of critical incidence angles that secure no-separation character of gas flow at the inlet of turbine wheel blade row. Separation-related losses are calculated for vehicle engine turbochargers types TCR-8,5, TCR-11 and TCR-14. 5 ill., 7 ref.

UDC 621.43.052

Tsyplenkin G.E., Iovlev V.I. and Kozhenkov A.A. Development of Two-Stage Supercharge Systems // Dvigatlestroyeniye. — 2017. — № 2. — P. 15–22.

Keywords: reciprocating engine, two-stage supercharge system, reduction in noxious emissions, controllable wastegate and air bypass systems, exhaust gas recirculation.

The article presents review and analysis of today trends in two-stage supercharge systems (TSSS) of two- and four-stroke multi-purpose engines. It is shown that TSSS systems for 4-

stroke medium-speed engines produced by industry-leading engine builders, though varying in design, are able to simultaneously improve fuel efficiency and reduce noxious emissions to limits established by applicable oncoming regulations (continuation of review).

3 tables, 18 ill., 8 ref.

UDC 621.43.052

Kozhenkov A.A. Modelling of Dynamic Behaviour of Rotor Systems of Turbochargers Featuring Plain Bearings // Dvigatlestroyeniye. — 2017. — № 2. — P. 23–28.

Keywords: turbocharger, rotor system, plain bearing, rotor vibration damping, modelling of system dynamics in various coordinate systems.

Considered are methods and applied aspects of rotor dynamics modelling for turbochargers featuring plain bearings. Included are the results of numerical analysis and optimization of a serial turbocharger rotor system. These authors took part in designing of plain bearings that damp rotor vibrations at high rotational speed. Recommendation are formulated on statement and solution of rotor dynamics problems. Simplified description of rotor in fixed coordinate system is shown as yielding most trustworthy calculation results, while rotating coordinate system is preferable for modal analysis of rotor system dynamics.

1 table, 9 ill.

UDC 629.351-242:621.43

Snarsky S.V., Gaffarov G.G., Gaffarov A.G. and Kovalenko S.Yu. Optimization of Thermal Stress Patterns in Piston-Cylinder Unit Parts as a Means to Improve Reliability of KAMAZ Engines // Dvigatlestroyeniye. — 2017. — № 2. — P. 29–33.

Keywords: KAMAZ engines, maintainability, crankcase ventilation system, oil spit, cylinder liner–engine block-interface, nonoptimal thermal stress pattern.

Oil spit through the breather was revealed as a typical defect of KAMAZ type 740.354-450 engine. This work is targeted at rectifying of said defect in order to improve engine maintainability. It is nonoptimal thermal stress pattern of piston-cylinder unit parts that had been identified as a cause of such condition, the previous, in turn, resulting from excessive interference fit of cylinder liner upper land. Measures are offered to eliminate said defect.

1 ill., 4 ref.

UDC 621.43

New Trends in the Development of Engine Lubricants (based on CIMAC-2016 papers) // Dvigatlestroyeniye. — 2017. — № 2. — P. 34–57.

Keywords: Marine engines, emission control areas, low-sulfur fuels, oil thickeners, new cylinder oils, field test results.

New trends in the development of engine lubricants largely relate to severe decrease in maximum allowable sulfur content in marine fuel for ships operating within emission control areas (ECA). Chevron Oronite Company has developed alternative oil thickeners for engine operation on lower than 0,1% m/m fuel sulfur. According to MAN B&W, alkaline additives are no more recommendable for engine operation on low-sulfur fuels, liquefied natural gas (LNG) and liquefied petrol gas (LPG), since they can disturb the lube oil film, obstruct the piston ring movement, polish the liner surface and thereby increase the risk of scuffing. The results of bench and field tests of newly-developed cylinder oils are presented. 5 tables, 35 ill., 23 ref.

The CIMAC papers are translated into Russian by G.Melnik, PhD.

Вниманию авторов

Редакция обращает внимание авторов на тематическую направленность принимаемых к рассмотрению рукописей и необходимость выполнения требований по их оформлению.

Журнал «Двигателестроение» является ежеквартальным научно-техническим изданием, посвященным проблемам развития, проектирования, изготовления и эксплуатации поршневых двигателей.

Тематика публикаций определила следующие основные рубрики журнала:

- расчеты, конструирование, исследования двигателей;
- системы и агрегаты двигателей;
- конструкционные материалы;
- топливо и смазочные материалы, присадки;
- ресурсосбережение;
- эксплуатация и ремонт двигателей;
- автоматизация и диагностирование;
- проблемы экологии;
- гипотезы и дискуссии;
- история развития конструкций (проектов), предприятий и науки о двигателях;
- обзорная и справочная информация.

Текст рукописи должен быть представлен в двух экземплярах на бумаге формата А4, гарнитура Times New Roman 12, через полтора интервала, с обязательным приложением электронной версии на CD (в формате Microsoft Word 2000/2003), полностью соответствующей оригиналу на бумаге.

Формулы в электронной версии должны быть набраны с использованием редактора формул Microsoft Equation 3.0. (одна формула должна быть набрана одним блоком и вставлена отдельной строкой); внутри текстовой строки использования редактора формул не допускается.

За достоверность набора формул несет ответственность автор. Электронные копии иллюстраций представляются отдельными файлами в форматах: TIF, JPG (не менее 300 dpi, черно-белые полутонные изображения).

Представляя рукопись статьи в редакцию, автор должен сообщить о ее предыдущих публикациях.

Рукопись статьи должна иметь рекомендацию к публикации в журнале (направление) от организации, где выполнялась работа, а также акт экспертной комиссии с указанием того, что рукопись не содержит сведений, запрещенных к публикации в открытой печати.

Заглавие статьи должно быть кратким (не более 120 знаков), точно отражающим ее содержание.

Для оперативного решения вопросов, связанных с подготовкой рукописи к публикации, а также для размещения электронной версии журнала в НЭБ должны быть представлены сведения об авторах:

- фамилия, имя, отчество (полностью);
- ученая степень и звание;
- полное наименование места работы;
- полный почтовый адрес;
- действующие контактные телефоны, e-mail).

Для представления авторов читателям желательно присылать цветные или черно-белые фотографии авторов размером не менее чем 3×4 см. Допускаются электрон-

ные копии в форматах TIF или JPG.

Обязательными приложениями к рукописи являются: реферат, в котором четко и сжато изложены основные цели и результаты работы объемом от 700 до 1200 знаков; код УДК; ключевые слова.

Заглавие статьи, название организаций, ФИО авторов, ключевые слова и реферат необходимо присылать на русском и английском языках.

Объем статьи не должен превышать 25 тыс. знаков, включая таблицы и список литературы. Иллюстрации в виде графиков, диаграмм, схем и фотографий оформляются в виде приложений к тексту рукописи. Все приложения к тексту рукописи представляются на отдельных листах, а в электронной копии — в виде отдельных файлов. Формулы, иллюстрации и таблицы должны быть пронумерованы в порядке упоминания и снабжены поясняющими (подрисовочными) подписями. Все обозначения на иллюстрациях должны быть объяснены (расшифрованы) в тексте или в подрисовочных подписях и соответствовать обозначениям в тексте.

Даже если все иллюстрации заверстаны автором в текст электронной копии рукописи, то их представление в виде отдельных файлов и распечаток на отдельном листе обязательно.

В статьях желательно приводить только те математические формулы, которые необходимы для понимания существа вопроса, исключая их подробные выводы.

Все обозначения, встречающиеся в формулах, должны быть объяснены.

При написании формул необходимо использовать общепринятые обозначения физических величин по Международной системе единиц (ГОСТ 8.417–2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин). Ссылки на цитируемые источники необходимо оформлять в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 05–2008.

Если представленные в редакцию рукописи не удовлетворяют перечисленным требованиям, то они могут быть доработаны по согласованию с автором сотрудниками редакции. Услуги редакции по доработке рукописей статей платные.

Рукописи статей, поступившие в редакцию, рецензируются специалистами. Если у рецензента имеются обоснованные критические замечания, статья возвращается автору на доработку.

Редакция оставляет за собой право внесения в текст редакторских изменений, не искажающих смысла авторского текста. При поступлении в редакцию обоснованных критических замечаний, касающихся размещенного в журнале материала, редакция оставляет за собой право на их публикацию в порядке дискуссии.

Авторское право на конкретную статью принадлежит авторам. Ответственность за содержание статьи несет также автор. При перепечатке статьи или ее части ссылка на журнал обязательна.

Публикация в журнале учитывается ВАК в качестве печатного научного труда.

Рукописи, направленные в редакцию, авторам не возвращаются.

Редакция журнала