

УДК 621.431-729.3:621.892

П.П. Кича², Г.П. Кича¹, Н. Н. Таращан¹

¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

²Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а

ХИММОТОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОНОМИИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА МОРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Обобщены достижения по эффективному топливно- и маслоиспользованию на судах морского и рыбодобывающих флотов. Приведены современные методы сжигания низкосортных топлив при работе судовых дизелей на отечественных унифицированных моторных маслах. Показана рациональность добавок модификаторов трения к моторным маслам для топливно- и ресурсосберегающей эксплуатации двигателей внутреннего сгорания. Сообщается о разработке комбинированной системы тонкой очистки моторного масла в дизелях, сочетающей достоинства фильтрования и центрифугирования.

Ключевые слова: топливно-энергетические ресурсы, горюче-смазочные материалы, судово-вой дизель, моторное масло, судовое топливо, очистка масла и топлива, энергосбережение, модификаторы трения

G.P. Kicha, P.P. Kicha, N.N. Taraschan

HEMATOLOGICAL METHODS OF RATIONAL USING AND SAVING OF ENERGY RESOURCES IN THE MARITIME TRANSPORT

Achievements to effectively using fuel and oil on vessels of merchant and fishing fleets are summarized. Modern methods of burning low grade sues for marine diesel engines in domestic uniform motor oil are given. Rationality of friction modifier additives to motor oils for fuel – and resource – saving operation of internal combustion engines is shown. Development of a combined system of engine oil fine cleaning in diesel engines, combining advantages of filtering and centrifugation is repotted.

Key words: energy and fuel resources, oil and lubricants, marine diesel, engine oil, marine fuel, diesel oil and lubricant cleaning, saving of energy, friction modifiers

Научно-технический прогресс во всем мире нацелен на радикальное улучшение использования природных ресурсов, материалов, топлива и энергии на всех стадиях – от добычи и комплексной переработки сырья до выпуска и использования конечной продукции. Особенно это актуально для транспортной энергетики как одного из основных потребителей топлив и смазочных материалов. Применение и дальнейшее совершенствование двигателей внутреннего сгорания (ДВС) как в СНГ, так и за рубежом подтверждают, что на обозримую перспективу они остаются основой мобильной энергетики многих отраслей народного хозяйства и по-прежнему будут влиять на развитие транспорта. Исследования показывают, что ДВС в перспективе останется ведущим типом привода для транспортных установок и будет широко использоваться в народном хозяйстве.

Важнейшую роль в энергетическом потенциале страны принадлежит нефти, природные запасы которой ограничены. Поэтому в условиях возрастающего потребления и увеличения стоимости продуктов из нее исключительно важное значение приобретают

экономия и рациональное использование в технике горюче-смазочных материалов (ГСМ). Сокращение расхода моторного масла (ММ) в ДВС тесно связано с улучшением его качества и повышением эффективности очистки при использовании. Углубление переработки нефти неизбежно сопровождается увеличением концентрации в топливах продуктов вторичных процессов. В последних содержится значительное количество нежелательных соединений, ухудшающих эксплуатацию дизельных двигателей. Этот же недостаток характерен и для топлив, получаемых из альтернативного сырья. Приспособление дизелей к работе на топливах низкого качества с одновременным повышением надежности и экономичности их – важная народнохозяйственная задача. Решаться она должна с учетом экологических последствий.

Большую роль в рациональном использовании энергоресурсов, повышении надежности и долговечности транспортной техники, увеличении ресурса ДВС, экономии металла, топлив и масел, снижении трудозатрат на техническое обслуживание играет новое научное направление – химмотология*. В ближайшие годы в связи с необходимостью экономии и рационального использования топливно-энергетических ресурсов, широким применением продуктов глубокой переработки нефти и альтернативного сырья роль химмотологии в повышении эффективности функционирования ДВС возрастет.

В условиях перестройки и перехода страны к высокоэффективной экономике необходимо решать многие проблемы народного хозяйства на основе обобщения отечественного и мирового опыта. Отрицательно сказывается на разработке перспективных методов сокращения расхода ГСМ и повышении ресурсных показателей ДВС отсутствие долгосрочного межотраслевого планирования, должной координации исследований и слабая специализация в области топливоиспользования и очистки масел.

Потери вследствие недооценки роли смазки, недостаточного качества ММ и низкой эффективности его очистки ежегодно составляют 10 млрд руб. [1]. В результате изнашивания ДВС из-за плохой смазки суммарная потеря их мощности достигается 10-15 %, или более 100 млн кВт. Многообразие процессов изнашивания и их тесная взаимосвязь с эффективностью системы маслоочистки и в целом ДВС обуславливает необходимость комплексного подхода к борьбе с трением, коррозией и износом. Подсчитано, что каждый вложенный в эти направления рубль дает экономический эффект до 100 руб. [1, 2]. В области применения триботехнических знаний, как отмечено в докладе П. Джоста [3], возможна ежегодная экономия в размере 468-700 млн фунтов стерлингов, причем на транспорт приходится 56 % от этой суммы.

Прямым и косвенным потерям энергии, вызываемым трением и износом, а также экономии материалов пока еще не уделялось должного внимания, по крайней мере до 1977 г., когда в США был финансируемый план, обеспечивающий ежегодную экономию в размере 16, 25 млрд долл. при использовании накопленных знаний в области химмотологии [3]. Академией транспорта РФ предпринимается попытка разработки программ научно-исследовательских работ, направленных на уменьшение износа на транспорте и экономии всех видов ресурсов. В разработке и осуществлении этой программы большую роль может играть химмотология. При общих мировых потерях от коррозии и коррозионно-механического изнашивания порядка 200-250 млрд долл. в год более 25 % приходится на ДВС.

Значительный ущерб технике, особенно в условиях эксплуатации при низких температурах, наносит водородное изнашивание [2, 4]. Оно происходит в результате проникновения в металл водорода при разложении воды и окисления топлив и сма-

* Название предложено К.К. Папок, образовано сочетанием «химия – мотор – логия».

зочных материалов. Наличие в ММ воды не только усиливает водородное изнашивание, но и значительно интенсифицирует электрохимическую коррозию вкладышей подшипников, способствует развитию усталостного изнашивания, питтинга и фреттинг-коррозии.

Трение и коррозия наносят огромный материальный ущерб. Потери от них доходят до 10 % совокупного национального дохода развитых стран. Технические проблемы уменьшения износа сложны и многогранны. Эти проблемы должны рассматриваться на всех стадиях разработки транспортной техники, ее эксплуатации, техническом обслуживании и ремонтах. Необходимость комплексного решения проблемы уменьшения трения, коррозии и изнашивания обусловлена развитием двигателестроения, повышением экономичности и ресурса транспортных средств.

Важнейшие задачи химмотологии на ближайшие годы связаны с углублением переработки нефти, получением синтетических топлив и повышением качества ГСМ. Решение поставленных проблем должно способствовать сокращению расхода топлив и масел, повышению надежности эксплуатации тепловых двигателей на альтернативных и нефтяных топливах, включающих компоненты вторичных процессов.

Дизелезация транспортного парка требует увеличения ресурсов дизельного топлива (ДТ), что достигается расширением фракционного состава товарных топлив и использованием при их производстве продуктов вторичной переработки нефти. Утяжеление ДТ за счет высококипящих фракций позволяет увеличить ресурсы этого топлива на 5-8 %. Расширение его ресурсов возможно также путем вовлечения легких фракций. Такое топливо, выкипающее в пределах 60-400 °С, позволяет увеличить выработку ДТ на 30 % [1].

Менее эффективно увеличение выхода ДТ добавками продуктов вторичной переработки нефти: легкого газойля каталитического крекинга и других продуктов термокаталитических процессов. Последние более приемлемы для получения моторного топлива ДМ, так как содержат непредельные и ароматические углеводороды, химическая стабильность которых невысока. Они склонны к образованию отложений в камере сгорания ДВС.

Современные нефтяные топлива для судовых энергетических установок (СЭУ) представляют, как правило, смеси дистиллятных (дизельных) фракций с остаточными продуктами (мазутами) нефтепереработки. Для удовлетворения потребностей флот вынужден переходить на продукты глубокой переработки нефти, получаемые при каталитическом и термическом крекинге. Углубление переработки нефти вызывает, в свою очередь, ухудшение качества мазутов из-за увеличения содержания асфальтосмолистых веществ, агрессивных металлов и золы.

В последние годы разработан ассортимент специальных топлив судового назначения. К ним относятся дистиллятное ТМС (ТУ38.101567-87), остаточные СВТ, СВЛ, СВС (ТУ 38.101314-90). Они рекомендованы к использованию наравне с моторными ДТ и ДМ (ГОСТ 1667-68), флотскими Ф-5 и Ф-12 и топочными М-40, М-40В и М-100 (ГОСТ 10585-99) мазутами. При их применении пришлось решать проблему повышения самовоспламеняемости топлив, нестабильности их хранения, взаимной несовместимости, присутствия в топливе каталитической «мелочи».

В настоящее время ведутся работы по созданию альтернативных топлив. Это природный газ, продукты переработки каменного и бурого углей, горючих сланцев и битуминозных песков, попутных нефтяных газов. Планируется использование в качестве топлива водорода, метанола, эфиров и смесей последних с нефтяными топливами. Рассматривается товарное производство синтетических жидких топлив, не уступающих по

качеству продуктам нефтяного происхождения. Возможность варьирования их качеством выгодно отличает топлива, получаемые сжижением угля, от других нетрадиционных видов горючего.

Большие перспективы имеют водотопливные эмульсии. Их применение в ДВС позволяет экономить до 6 % топлива. Особый интерес представляет использование водотопливных эмульсий на основе тяжелых компонентов. Предложена и реализована на судах система приготовления и очистки эмульсии. Стойкость эмульсии без специальных присадок составляет 2-3 сут, что достаточно для их оперативного использования. С присадками эмульсия стабильна в течение месяца. Гомогенизатор ультразвукового действия обеспечивает приготовление эмульсии с размерами глобул воды 5-10 мкм. Оптимальная концентрация воды, при которой достигается высокая экономичность рабочего процесса для среднеоборотных дизелей, составляет 8-12 %. По экономическим показателям лучшая обводненность 15-20 %. Использование водотопливных эмульсий в форсировании ДВС позволяет экономить 6-12 г/(кВт·ч) топлива, снижает выброс NO_x на номинальном режиме работы в 1,5-2,3 раза, СО и сажи – в среднем на 46 %.

Совершенствование топливоиспользования заключалось в разработке высокоэффективных систем топливоподготовки, включающих сепараторы и фильтры самоочищающихся типов. Комбинированная очистка топлив результативна, так как снижает в 1,8-3 раза потерю их горючей части, хорошо удаляет каталитическую мелочь низкой плотности с размерами частиц 5-15 мкм, особенно опасной для топливной аппаратуры.

Предлагается включение в систему топливоподготовки одного из сепараторов, настроенного в режим пурификации, добавка в топливо специальных присадок для лучшего удаления воды. Разработан альтернативный режим топливоподготовки за счет гомогенизации водотопливной эмульсии и сжигания ее в дизеле при естественных концентрациях воды в топливе, вызванных «дыханием» топливных цистерн в условиях колебания температуры, подмешиванием ее через подтекающие змеевики подогрева. Созданы специальные программы для выбора оптимальных режимов топливоподготовки по подогреву топлив и производительности очистителей, исходя из свойств применяемых нефтепродуктов. Создан и применен в судовых условиях экспресс-метод оценки смешиваемости и сгораемости топлив.

Повышение эффективности топливоиспользования на судах выразилось в составлении карт (номенклатуры) предлагаемых, в том числе новых, судовых топлив, характеристики условий их смешиваемости, разработке мероприятий по качественной подготовке и сжиганию, нормированию расхода. Разработан ряд новых эксплуатационных показателей топлив. В отличие от существующих физико-химических параметров они дают возможность выбирать самый выгодный режим топливоподготовки, прогнозировать экономические и экологические характеристики дизелей при использовании топлив широкого группового и фракционного состава, наличия в них асфальтенов, смол и кокса. Новые показатели позволяют определить стратегию топливоподготовки, в том числе за счет применения специальных присадок, обеспечивающих высокий эффект топливоиспользования на судах при минимальном загрязнении окружающей среды и малых отходах продуктов, требующих утилизации.

Значительные успехи достигнуты в использовании смазочных материалов. Создаются новые присадки, долгорботающие масла, осуществляется их унификация, что упрощает обслуживание техники, удешевляет эксплуатацию транспортных средств. Долгорботающие и топливосберегающие масла имеют высокие эксплуатационные (моторные) свойства, что способствует увеличению срока их службы, снижению износа деталей трибосопряжений и затрат энергии на преодоление трения.

Для создания перспективных ММ необходимы высококачественные базовые углеводородные или синтетические основы, новые присадки и их композиции. Необходимо значительно улучшить вязкостно-температурные характеристики масел, чтобы повысить их пусковые свойства. Предстоит расширить ассортимент присадок, повысить их термическую стабильность, детергентные свойства. Для топливосберегающих масел важна способность кратковременно снизить вязкость при повышенной температуре и высоких скоростях сдвига [1]. Эти свойства желательны для ММ, включающих антифрикционные присадки в виде беззольных органических соединений и маслорастворимых ПАВ, содержащих молибден, медь, никель, кобальт, хром. При использовании модификаторов трения благодаря малому усилию тангенциального сдвига в пленке, имеющей структуру «сэндвича», экономится 3-8 % топлива [2].

С помощью теории избирательного переноса и металлоплакирования созданы смазочные масла, реализующие эффект безызносности. Для ММ последнего поколения разработаны присадки, значительно улучшающие их функциональные свойства: вязкостно-температурные, моюще-диспергирующие, стабилизирующие, антиокислительные, противопенные, противоизносные, противозадирные, антифрикционные, защитные, противокоррозионные.

С позиции экономии ММ и сохранения ресурсных показателей судовых дизелей исследования велись в следующих направлениях [5]:

- подбор композиций присадок, отвечающих требованиям дизеля с учетом форсировки, режимов работы и применяемых топлив;
- разработка долгорботающих масел, которые могут быть использованы без смесей с компенсацией только угара;
- увеличение срока службы ММ за счет усиления нейтрализующего и моюще-диспергирующего свойств их;
- снижение угара масла конструктивными и эксплуатационными мерами;
- разработка моделей старения ММ при его использовании в дизеле с целью расчета дозировки масла в цилиндр в зависимости от его щелочности и содержания серы в топливе, форсировки дизеля;
- создание комбинированных маслоочистительных комплексов (МОК), обеспечивающих форсированным дизелям совместно с ММ групп Г₂, Д₂ и Е₂ высокий ресурс.

Взаимное соответствие конструкции и форсировки дизеля, условий его эксплуатации и свойств масла – одно из важнейших условий достижения высокой надежности двигателей. ММ может длительно и надежно выполнять свои функции, обеспечивая заданный ресурс ДВС, только при точном соответствии его свойств термическим, механическим и химическим воздействиям, которым масло подвергается в смазочной системе двигателя и на поверхностях смазываемых и охлаждаемых деталей.

Анализ результатов применения ММ различных типов – от авиационного до дизельных и автолов – показал, что в условиях судна из-за частого обводнения они должны обладать высокой влагостойкостью без вымывания присадок и малой эмульгируемостью с водой. В полной мере эти свойства хорошо проявляются и нормируются в маслах М-10(14, 16)-Г₂(цс), М-10(14)-Д(цл20), М-14(16)-Д(цл30), М-16-Е30 и М-20-Е70 (ГОСТ 12337-84). Вымываемость присадок водой у них по снижению щелочности не превышает 15 %, а по падению зольности – 10 %; эмульгируемость с водой составляет 0,3-0,5 см³ (при стандартном обводнении и разрушительном воздействии на эмульсию). У масел других марок влагостойкость низка и вымываемость присадок очень высока. Попадание воды вызывает усиленное (в 2-6 раз) срабатывание присадок. Сепарирование же их с целью удаления воды вызывает отфуговывание присадок.

У предлагаемых масел, назовем их судовыми (СММ), хорошо сбалансированы основные функциональные свойства. Достигнуто это за счет применения присадок на основе синергетического эффекта, широкого использования многофункциональных компонентов. Как и у большинства ММ, у них высока и ярко выражена моющая, диспергирующе-стабилизирующая, пептизирующая и солубилизирующая способность по отношению к различным нерастворимым загрязнениям, что обеспечивает чистоту деталей двигателя.

Моюще-диспергирующие свойства СММ придают присадки ПМСЯ и МАСК. Последняя из-за высокой щелочности дополнительно защищает детали от коррозионного воздействия продуктов старения масла и сгорания сернистого топлива. Она представляет термостойкий высокодисперсный коллоид и хорошо проявила себя как в циркуляционных, так и в цилиндрических маслах. Многозольный алкилсалицилат кальция (МАСК) при температурах до 240 °С и обводнении не теряет своих свойств. По многофункциональности, нейтрализующим и детергентным свойствам он превосходит лучшие зарубежные присадки этого класса. Недостаток этой присадки – нерастворимость в масле [5].

Основной нейтрализующий эффект судовым маслам придает присадка ДФ-11, которая хорошо сочетается с МАСК и антиокислителем ВНИИНП-354. Последний используется на флоте давно. Это хороший ингибитор окисления, он не боится обводнения, придает маслу стойкость к старению, способствует противостоянию внешним термическим (окислительным) воздействиям.

Перечисленные присадки придают ММ достаточно высокие противоизносные свойства, обеспечиваемые прочностью масляной пленки, нужной вязкостью при высокой температуре и высоком градиенте скорости сдвига, способностью химически модифицировать поверхность металла при граничном трении и нейтрализовать кислоты. Противоизносные (противозадирные) свойства масел улучшались многофункциональными присадками ДФ-11 и ВНИИНП-354. Для этой цели в некоторых случаях использовали также модификаторы трения. Энергосберегающие и приработочные масла в своем составе обязательно имеют эти компоненты. Например, на основе модификатора трения МТ-3 создано обкаточное масло ОМД-10 для судовых и транспортных дизелей.

В Морском государственном университете имени адмирала Г.И. Невельского проведен цикл исследований по конвертированию судовых дизелей на низкосортные топлива [5]. Проведенные мероприятия позволили полностью нейтрализовать последствия сжигания топлив глубокой переработки нефти и альтернативных. При этом были обеспечены высокая экономичность и ресурс конвертируемых на них ДВС. Комплексное повышение эффективности смазочных и топливных систем СЭУ предусматривало гомогенизацию и фильтрование топлив, комбинированную очистку ММ, применение унифицированных судовых масел с многофункциональными присадками с добавками дисульфида молибдена [6]. Композиции присадок позволили достичь синергетического эффекта и были составлены с превалированием антикоррозийного и моюще-диспергирующего действия за счет использования присадок МАСК и ПМС.

В большинстве двигателей сжигали водотопливные эмульсии с добавками воды 12-15 %. В отдельных случаях модернизации подвергались поршневая группа, системы топливоподготовки и смазки. Использовались маслосъемные кольца новых модификаций, обеспечивающие в дизелях средней и повышенной частоты вращения угар масла 1,2-1,8 г/(кВт·ч). Для комбинированных систем тонкой очистки ММ дизелей были разработаны полнопоточные фильтры со сменными фильтрующими элементами (ФЭ) и

саморегенерирующего типа [6]. Для глубокой очистки масла от продуктов, катализирующих окисление ММ, использовали центрифуги и центробежные сепараторы [5].

На основе системного подхода осуществлено имитационное моделирование комплекса *дизель – эксплуатация – топливо – масло – очистка* (ДЭТМО), дающее возможность сбалансировать работу его звеньев и повысить эффективность ДЭТМО в целом. Результаты моделирования и моторный эксперимент показали, что комбинированная очистка ММ за счет полнопоточного фильтрования надежно защищает пары трения ДВС от частиц загрязнения, вызывающих изнашивание и задир. Дополнительное центрифугирование или частично поточное фильтрование обеспечивает очистку масла от продуктов, интенсифицирующих его старение и срабатывание присадок.

Комбинированная очистка стабилизирует моюще-диспергирующие свойства ММ на высоком уровне, длительно сохраняет его солюбилизирующую способность, ускоряет перевод промежуточных продуктов окисления в карбены и карбоиды, которые легко отфильтровываются и отфуговываются. Применение МОК в 1,2-1,7 раза замедляет старение масла по основным направлениям и в среднем на 45 % уменьшает загрязнение двигателя углеродистыми отложениями.

Использование в судовых дизелях моторного масла последнего поколения, новых маслоочистительных комплексов и эффективных систем топливоподготовки позволило [7]:

- полностью нейтрализовать отрицательные последствия сжигания низкосортных топлив и обеспечить экономичную ресурсосохраняющую эксплуатацию ДВС;
- увеличить ресурс двигателей между моточистками и до капитального ремонта не менее чем на 20 %;
- сократить в сочетании с конструктивными мероприятиями расход топлив на 2-6 % и ММ на 15-60 %;
- уменьшить затраты на сменно-запасные части и трудоемкость обслуживания ДВС на 10-30 %, увеличить срок службы ФЭ в 1,5-2 раза;
- понизить трудоемкость обслуживания системы очистки масла в 7-30 раз и довести до уровня 0,5-4 чел.·ч на 1000 ч работы.

Проблемы качества и рационального использования ГСМ приобрели межотраслевое значение, поскольку возросла роль их качества в вопросах увеличения надежности, долговечности и экономичности техники, в том числе транспорта. Прикладной отраслью науки, призванной решать теоретические и практические значения в области ГСМ, как уже отмечалось, является химмотология, рассматривающая теорию и практику рационального их использования в технике.

Возможности судовой химмотологии показаны на приведенных примерах. Сегодня все транспортные проблемы, о чем хотелось бы еще раз напомнить, необходимо решать с учетом экологических последствий. Для охраны окружающей среды нужно строго ограничить в составе отработанных газов содержание токсичных и канцерогенных соединений, что в значительной степени связано с качеством применяемых ГСМ.

Роль химмотологии в решении важнейших народнохозяйственных задач в ближайшие годы будет возрастать в связи с необходимостью экономии и рационального использования топливно-энергетических ресурсов, вовлечением продуктов глубокой переработки нефти и альтернативного сырья в товарные продукты и применением на судах газообразного топлива. Большие перспективы в прогнозировании возможностей различных топлив, масел и комплексной оценки их эффективности на транспорте имеет разработанная модель ДЭТМО [5], позволяющая исследовать численными методами на ЭВМ функционирование звеньев рассматриваемой системы.

Список литературы

1. Гуреев А.Д. Состояние и перспектива развития химмотологии [Текст] / А.Д. Гуреев // Химия и технология топлив и масел. – 1989. – № 5. – С. 5-6.
2. Радченко Б.Д. Роль химмотологии и триботехники в создании современных смазочных материалов и снижение износа металлоизделий [Текст] / Б.Д. Радченко, Ю.Н. Шехтер // Химия и технология топлив и масел. – 1987. – № 4. – С. 2-5.
3. Джост П. Экономия энергии и помощью трибологии: технико-экономическое исследование [Текст] / П. Джост, Дж. Шофилд // Трение и износ. – 1982. – Т. 3, № 2. – С. 356-366.
4. Гаркунов Д.Н. Триботехника [Текст] / Д. Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
5. Кича Г.П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях [Текст] / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. – 372 с.
6. Кича Г.П. Экономичная эксплуатация дизелей [Текст] / Г. П. Кича // Морской флот. – 1984. – № 11. – С. 47-49.
7. Кича Г.П. Эффективная очистка моторного масла – основа экономичной ресурсосберегающей эксплуатации судовых ДВС [Текст] / Г.П. Кича // Двигателестроение. – 1985. – № 7. – С. 6-10.

Сведения об авторах: Кича Геннадий Петрович, доктор технических наук, профессор, начальник кафедры судовых двигателей внутреннего сгорания МГУ им. адм. Г.И. Невельского, e-mail: nadezkin@mail.ru;

Кича Павел Петрович, кандидат технических наук, доцент;

Тарашан Николай Николаевич, зам. начальника Высшего морского колледжа.