

УДК 621.436

Солодовников В.Г.
ОНМА

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ОБРАБОТКИ ТОПЛИВА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ

Судовые энергетические установки (СЭУ) представляют собой сложные комплексы, насыщенные тепловыми двигателями и разнообразным оборудованием, которое обеспечивает не только выработку и передачу энергию потребителю (винту – от главного двигателя, электрогенератору – от вспомогательного двигателя, теплообменной поверхности – от вспомогательного котла), но и выполняет многочисленные операции по предварительной подготовке топлива, масла, воды и воздуха, которые используются в качестве рабочих сред. Суммарная мощность главных и вспомогательных двигателей современных СЭУ достигает 100 тыс. кВт, что при среднем удельном эффективном расходе топлива 0,175...0,180 кг/(кВт·ч) определяет суточный расход топлива этими тепловыми двигателями в пределах 400 тонн. Все это количество топлива пред непосредственным сжиганием в камерах сгорания подвергается предварительной обработке с непрерывным контролем его основных эксплуатационных характеристик.

Эксплуатационные свойства топлив оцениваются показателями, характеризующими процессы подачи, смесеобразования, сгорания, а также способность вызывать нагарообразование и изнашивание в деталях дизеля. Основные показатели регламентируются стандартами на топливо и определяют широкий спектр характеристик. В зависимости от характера рассмотрения вопросов топливоподготовки и топливоиспользования, разные источники в качестве первостепенных определяют различные показатели, но при этом всегда рассматривается фракционный состав топлива, температура вспышки, вязкость топлива, содержание серы, теплота сгорания.

Процесс подготовки топлива и поддержания его эксплуатационных характеристик в заданных пределах является энергоемким и по разным оценкам требует от 5 до 20 % эквивалентной мощности главной энергетической установки [1]. В связи с этим, внедрение в судовую практику новых методов топливоподготовки всегда рассматри-

вается с позиции энергетической эффективности и эксэргии физических процессов, обеспечивающих улучшение эксплуатационных характеристик как топлива, так и теплового двигателя.

Понятие эксэргии теплового процесса особенно актуально для СЭУ, где (в отличие от стационарной энергетики) процессы топливоподготовки, топливоподдачи и топливоиспользования происходят в непрерывной последовательности, таким образом, представляя собой одно целостное явление. Для морского судна, совершающего автономный переход, не существует отдельных процессов транспортировки, хранения и использования энергетических ресурсов. Для главных судовых дизелей от момента поступления топлива из расходной цистерны до распылителя форсунки проходит интервал времени, равный 0,5...1 часа, а для вспомогательных дизелей, имеющих менее насыщенную систему топливоподготовки, еще меньше.

Все вышеизложенное подчеркивает актуальность изучения вопросов по разработке энергоэффективных методов подготовки судовых топлив.

В настоящее время самыми распространенными методами подготовки топлива на судах является его фильтрация, а также гравитационная и центробежная очистка. С точки зрения затрат энергии на осуществление данных способов подготовки топлива, наименьшим по энергоемкости является гравитационная очистка, при которой из топлива осаждаются вода и механические примеси. Затраты энергии при фильтрации топлива связаны с дополнительными потерями мощности топливоперекачивающих насосов на преодоление сопротивления в мембранных либо пластинчатых элементах. Наиболее энергоемким методом топливоподготовки является его центробежная очистка в сепараторах, где необходима энергия не только на обеспечение вращения очистных элементов сепаратора, но и на подогрев топлива.

Однако, применение центробежных сепараторов в системах приводит к значительным потерям топлива. Из-за близости плотностей топлив и воды в шлам переходит вместе с водой часть горючих составляющих топлива – до 2...4%. Это приводит к снижению теплотворной способности топлива и увеличению его удельного расхода [2]. Кроме того, если настраивать сепаратор на максимальное удаление воды, то он не отбирает из топлива значительную часть частиц, размеры которых соизмеримы с зазорами в прецизионных деталях топливной аппаратуры. Это вызывает повышенный износ как плун-

жеров топливных насосов, так и распылителей форсунок [3]. Для устранения этого требуется установка двух последовательно работающих сепараторов, один из которых настроен на максимальный отбор воды, другой – механических примесей. Естественно, при этом в двое увеличиваются затраты энергии на очистку.

Одним из альтернативных методов, применяемых для подготовки топлива, является его кавитационная обработка.

Судовое топливо представляет собой высокомолекулярную, гетерогенную жидкость, молекулы которой при атмосферном давлении и нормальной температуре сложно ориентированы. При приложении к топливу внешнего давления в несколько сот атмосфер молекулы поляризуются, противодействуя внешним силам и сохраняя равновесие системы. Если внешнее давление резко снять, то внутренние силы начнут разрывать макромолекулы на более мелкие составляющие, причем, первоначальная плотность топлива уменьшается [4]. Этот принцип положен в основу кавитационной обработки нефти с целью изменения ее структуры.

Кавитация представляет собой процесс образования разрывов сплошности жидкости в результате местного спада давления. Если снижение давления происходит вследствие больших локальных скоростей в потоке движущейся капельной жидкости, то кавитация считается гидродинамической, а если вследствие прохождения в жидкости акустических волн, – акустической, или ультразвуковой.

Эффект кавитации сопровождается микровзрывами, ультразвуком, а также механическими разрывами отдельных молекулярных цепочек топлива, двигающихся навстречу друг другу с высокой линейной скоростью. Величина этой скорости составляет несколько десятков метров в секунду, что дает возможность разрезать диспергируемые вещества на мельчайшие микрочастицы.

Основным элементом, обеспечивающим кавитационную обработку топлива в судовых условиях, считается гомогенизатор, а процессы, которые в нем происходят – гомогенизация топлива. Гомогенизаторы обеспечивали за счет подвода к тяжелому топливу значительной энергии (порядка 4000 кДж/моль) тонкое диспергирование содержащихся в нем воды и механических примесей, поскольку глобулы воды при этом получались меньше величины зазора в топливной аппаратуре, последнее работало нормально на очищенном топливе. Таким образом, гомогенизация, по сравнению с сепарацией, ликвидировала потери топлива при очистке и обеспечивала экологи-

чески чистую (безотходную) обработку топлива. При этом опыт эксплуатации гомогенизаторов показал, что из-за высокой прилагаемой к топливу энергии тонкое диспергирование абразивных механических примесей не обеспечивало задержание их фильтрами тонкой очистки. Это обуславливало резкое возрастание скоростей изнашивания деталей цилиндропоршневой группы. Кроме того, высокая потребляемая мощность гомогенизаторов снижала их энергетическую эффективность. Все это привело к отказу от кавитационной обработки топлива, при этом на значительное время были приостановлены исследования по ультразвуковой обработке топлива. Последние исследования [5] подтвердили не только энергетическую эффективность данного метода, но и целесообразность его применения в системах топливоподготовки судовых дизелей, использующих топливо ухудшенного фракционного и структурного состава [6].

В качестве подтверждения изложенного предлагаются результаты исследований, выполненных на судовом дизеле 6VDS18 и его модернизированной системе топливоподготовки.

Перевод двигателей внутреннего сгорания подобных моделей на использование тяжелых сортов топлива вынудил к решению дилеммы: либо перекомпоновка топливной системы высокого давления новой топливной аппаратурой, обеспечивающей надежную работу на таких сортах топлива, либо применение дополнительной обработки топлива, способствующей улучшению его структурных показателей и качества распыливания, воспламенения и сгорания. Решение задачи по первому варианту сопряжено с изменением конструктивных характеристик дизеля и в любом случае невозможно без проведения дополнительных испытаний на действующих дизелях. Второй вариант решения поставленной задачи требует предварительных научных исследований или синтеза ранее полученных результатов и дооборудования штатных систем топливоподготовки дополнительными функциональными узлами.

В предлагаемой схеме топливоподготовки одновременно решались две задачи: улучшение качества предварительной подготовки топлива за счет воздействия на него ультразвуковыми колебаниями и снижение энергетических затрат в системе за счет замены энергоемкого метода центробежной сепарации на ультразвуковую обработку. Кроме того, ультразвуковая обработка топлива выполнялась дважды, причем второй раз – непосредственно перед впрыском топлива в ци-

линдр дизеля. Схема переоборудованной топливной системы показана на рис.1.

Из отстойной цистерны 1 топливо подается насосом 2 в топливную магистраль, где последовательно проходит расходную цистерну 3 с встроенным паровым подогревателем, ультразвуковой генератор 1-ой ступени 4, фильтр тонкой очистки 5, электрический подогреватель 6, регулятор вязкости 7, ультразвуковой генератор 2-ой ступени 8 и посредством топливного насоса высокого давления 9 и форсунки впрыскивается в камеру сгорания дизеля 10.

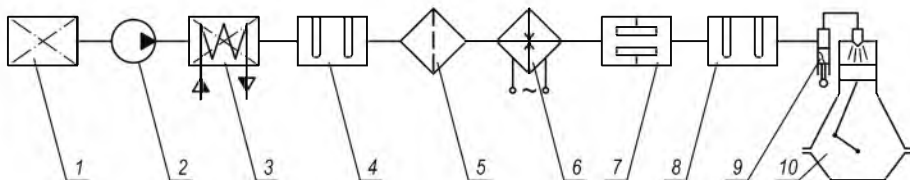


Рис.1. Схема переоборудованной топливной системы: 1– отстойная цистерна; 2 – топливный насос; 3 – расходная цистерна; 4 – ультразвуковой генератор 1-ой ступени; 5 – фильтр тонкой очистки; 6 – электрический подогреватель; 7 – регулятор вязкости; 8 – ультразвуковой генератор 2-ой ступени; 9 – топливный насос высокого давления; 10 – дизель

Ультразвуковая обработка топлива выполнялась на частоте 22 кГц как в первой, так и во второй ступенях ультразвукового генератора. Данное значение было определено в качестве оптимального на основе анализа подобных исследований, а также предшествующих экспериментов [6-8]. Расположение фильтра тонкой очистки 5 после ультразвукового генератора 1-ой ступени способствовало отсеву механических примесей из топливного потока. Дополнительная обработка топлива во 2-ой ступени ультразвукового генератора непосредственно перед топливной аппаратурой дизеля способствовало максимальному использованию эффекта раздробления молекулярных цепочек топлива.

Преимущество предлагаемой системы топливоподготовки по сравнению со штатной системы заключается в практическом отсутствии потери горючих составляющих топлива, которое происходит в центробежном сепараторе. Кроме того, сочетание фильтра тонкой очистки с генераторами кавитации обеспечивают работу системы топливоподготовки не только почти без потерь топлива, но и с очень высокой эффективностью ультразвуковой обработки, при этом по-

вышается интенсификация процесса горения топлива и тем самым обеспечивается снижение его удельного расхода.

Кавитационные явления в жидкостях наиболее эффективно происходят в случае наличия дополнительных кавитационных зон – зародышей кавитации [9]. В качестве таких зон могут выступать пузырьки воздуха, паров топлива или размельченные частички механических примесей.

В рассматриваемой схеме топливоподготовки ультразвуковой генератор 1-ой ступени не только способствует разрыву молекулярных цепочек топлива, но и приводит к дроблению механических примесей. Таким образом увеличивается количество кавитационных зон для ультразвукового генератора 2-ой ступени. Это способствует повышению эффективности процесса топливоподготовки с одновременным снижением энергетических затрат на ее проведение.

В системе была предусмотрена возможность переключения на штатный режим топливоподготовки. В этом случае топливо подвергалось очистке в центробежном сепараторе, без использования ультразвуковых генераторов. По такой же схеме работал другой подобный дизель, входящий в состав вспомогательной энергетической установки. Кроме того, параллельные эксперименты на одинаковых дизелях с разными системами топливоподготовки позволяли сделать соответствующие выводы о ее эффективности.

Для максимальной идентичности результатов эксперимента как сами дизели, задействованные в эксперименте, так и их топливные системы подвергались предварительной подготовке. Условия эксплуатации позволяли произвести замену фильтров тонкой очистки обоих дизелей, замену и отладку топливной аппаратуры высокого давления, а также выполнить моточистку дизелей, с заменой комплекта поршневых колец и технического освидетельствования цилиндрических втулок. На протяжении всего эксперимента дизели работали на постоянном сорте топлива и циркуляционного масла. Кроме того, дизели работали либо параллельно, либо по отдельности, но с постоянным контролем времени эксплуатации и эксплуатационной нагрузки, разница в которой не превышала 10 кВт для каждого дизеля, что с учетом их эксплуатационной мощности 320...350 кВт не превышало 3 %. Это, учитывая энергоемкость объектов, а также длительность проведения эксперимента, позволяло считать условия работы дизелей идентичными.

Задачей исследования было определение износа верхнего поршневого кольца для дизеля, работу которого обеспечивала штатная система топливоподготовки, и дизеля, работающего на топливе, прошедшем двухступенчатую ультразвуковую обработку. Кроме того, для обоих случаев определялись удельный расход топлива и температура выпускных газов, как параметры, характеризующие качество процесса сгорания. Результаты проведенных исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты эксперимента

Параметр	Величина	
	Стандартная схема топливоподготовки	Схема с использованием двухступенчатой ультразвуковой подготовки топлива
Износ верхнего поршневого кольца, г/(1000 ч)	2,14±0,04	0,63±0,03
Удельный эффективный расход топлива, кг/(кВт·ч)	0,206...0,214	0,199...0,207
Температура уходящих газов, °С	405...430	385...390

Приведенные результаты свидетельствуют об эффективности применения предлагаемого метода двухступенчатой ультразвуковой обработки топлива. В данном случае снижается износ верхнего поршневого кольца (на 70,5 %), что объясняется уменьшением его сернистой коррозии, а также понижается удельный эффективный расход топлива (на 3,3...4,4 %) и температура уходящих газов, что характерно для более качественного процесса сгорания топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ханмамедов С.А., Добровольский В.В., Добровольская Н.Л. Минимизация энергетических затрат на топливоподготовку высоковязких топлив малооборотных ДВС системы СИАС // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2011. – № 28. – Одесса: ОНМА. – С. 111-119.

2. Солодовников В.Г. Использование в судовых дизелях топлив различного фракционного и структурного состава // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2014. – № 33. – Одесса: ОНМА. – С. 86-92.

3. Заблоцкий Ю.В., Мацкевич Д.В. Исследование влияния сернистых топлив на рабочий процесс и техническое состояние судовых среднеоборотных дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2014. – № 33. – Одесса: ОНМА. – С. 122-127.

4. Чистовалов С.В., Чернов А.Н. Способы интенсификации различных химико-технологических процессов путем наложения низкочастотных колебаний и их аппаратное оформление // Химическая промышленность. – 1997. – № 8 (356). – С. 405-414.

5. Евдокимов И.Г., Гуреев А.А., Косок С.В. Энергетическая активация нефтяных остатков в дезинтеграторе // Химия и технология топлив и масел. – 1992. – № 1. – С. 26-28.

6. Сагин С.В., Солодовников В.Г. Применение ультразвуковой обработки топлива для снижения сернистого износа деталей двигателя / «Технические науки – от теории к практике» // Сб. ст. по материалам XXXV междунар. науч.-практ. конф. № 6 (31). Новосибирск: СибАК, 2014. – С. 42-49.

7. Хафизов Ф.Ш., Хафизов Н.Ф., Ванчухин Н.П. Процессы нефтепереработки в кавитационно-вихревых аппаратах. – Уфа: Фонд содействия развитию научных исследований, 1999. – 112 с.

8. Промтов М.А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов // Тамбов: Вестник ТГТУ, 2008. – Т. 14. – № 4. – С. 861-869.

9. Рождественский В.В. Кавитация.–Л.: Судостроение, 1977.– 248 с.