

УДК 621.436.004

**РЕГЕНЕРАЦИЯ АНИЗОТРОПНЫХ СВОЙСТВ
УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ****Д. В. Мацкевич¹**

Рассмотрена возможность регенерации анизотропных свойств топлива и масла в процессе эксплуатации. Предложен вариант гидродинамической активации жидкокристаллических свойств углеводородных жидкостей. Приведены результаты использования гидродинамического активатора топлива в топливной системе судового среднеоборотного дизеля.

Ключевые слова: *судовой дизель, углеводородные жидкости, гидродинамический активатор, топливная система судового дизеля.*

Одним из показателей работы судовых двигателей внутреннего сгорания, определяющим его эффективную и безотказную работу, считается надёжность. Мощным средством достижения необходимого уровня надёжности судового дизеля и систем, обеспечивающих его работу, является организация процесса их эксплуатации, базирующаяся на научном подходе. В ней особая роль принадлежит диагностированию, по результатам которого определяется действительное техническое состояние объекта технического диагностирования и характер его изменения во времени.

Судовые дизели (как главные, так и вспомогательные) относятся к наиболее сложным объектам диагностирования. В то же время безопасность эксплуатации судовой энергетической установки в первую очередь зависит именно от надёжности их функционирования.

Надёжная и экономичная эксплуатация судовых технических средств требует всемерного внимания к осуществляемому на судах контролю качества и поддержанию эксплуатационных характеристик нефтепродуктов. Требования, предъявляемые к качеству топлив и масел, могут быть выполнены только при условии систематического контроля их эксплуатационных свойств.

Цель статьи – определение влияния деструктирующих факторов на структурный состав углеводородных жидкостей (топлива и масла, используемых в судовых энергетических установках), а также поиск варианта регенерации их анизотропных (жидкокристаллических) свойств.

¹ © Мацкевич Д.В. – ассистент Одесской национальной морской академии.

Основной целью контроля качества нефтепродуктов является исключение работы судовой энергетической установки на некондиционных топливах и маслах. При этом учитывается, что проверка качества нефтепродуктов в первую очередь необходима по тем показателям, которые в наибольшей степени подвержены изменению при транспортировке, бункеровке и хранении, а также непосредственно в процессе эксплуатации судовой энергетической установки. Такими показателями, прежде всего, являются содержание в топливах и маслах воды и наличие механических примесей.

Неоднократно указывалось, что углеводородные жидкости (как топливо, так и масло) обладают анизотропными свойствами, которые наиболее характерно проявляются в области малых толщин [1, 2]. Как известно, наименьшие значения масляной и топливной пленок наблюдаются в парах трения вал–вкладыш и плунжер–втулка. Надежная эксплуатация этих трибосопряжений обеспечивает длительную безаварийную работу судовых дизелей.

Целью работы являлось изучение возможности регенерации анизотропных свойств топлива и масла, используемых при эксплуатации судовых дизелей, для обеспечения заданного уровня их надежности.

Попадание частичек воды и механических примесей в топливо или масло ухудшает их триботехнические характеристики и приводит к повышенному износу топливной аппаратуры и вкладышей подшипников коленчатого вала. Такое поведение углеводородных жидкостей можно объяснить деструкцией его слоев, примыкающих к рабочим поверхностям пары трения. Активные части молекул углеводородной жидкости (имеющей цепное строение [3]), захватываются частичками механических примесей и воды, вызывая частичную или полную деструкцию граничного слоя (рис. 1).

Удаление подобных примесей в судовых системах подготовки топлива и масла производится с помощью сепараторов и фильтров, однако данные методы обеспечивают требуемое качество топлива или масла лишь на определенных участках, а перенасыщение ими судовых систем приводит к повышению затрат энергии. В связи с этим, эффективным представляется способ, позволяющий регенерировать анизотропные свойства топлива или масла, сущность которого заключается в следующем.

Гидродинамический активатор (рис. 2) состоит из группы сопел Лаваля, проходя через которые топливо или масло увеличивает свою кинетическую энергию. Одновременно с этим увеличивается кинетическая энергия частиц механических примесей и воды, находящихся в нем. На выходе из камеры топливо ударяется с металлической цилиндрической поверхностью. Энергия удара частично идет на разрыв слабых связей между молекулами топлива и примесями, а также на разрушение самих твердых частиц и частично рассеивается в активаторе.

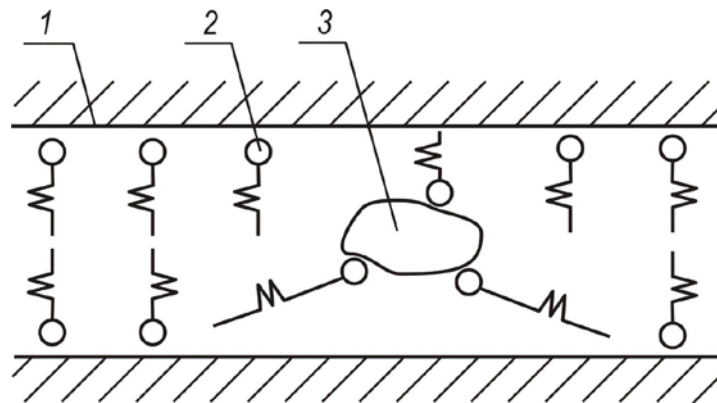


Рис. 1. Деструкция граничных слоев углеводородных жидкостей при попадании воды или механических примесей:

- 1 – металлическая поверхность;
 2 – структурно ориентированные молекулы жидкости;
 3 – частица механических примесей или воды

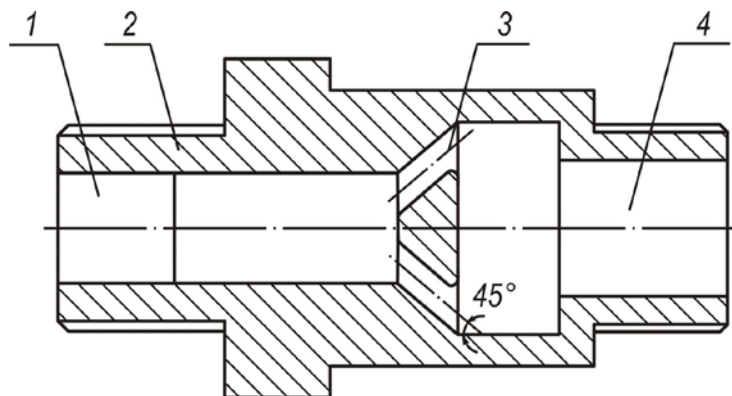


Рис. 2. Упрощенная схема гидродинамического активатора:
 1 – вход топлива; 2 – корпус активатора; 3 – участок гидродинамической активации;
 4 – выход топлива

Таким образом, установив энергию удара выше энергии связи, представляется возможным освободить молекулы топлива от посторонних адгезионных связей и тем самым регенерировать способность топлива к образованию структурированных граничных слоев на поверхности пары трения плунжер–втулка топливного насоса высокого давления.

С целью снижения энергетических затрат на работу активатора топлива и повышение его эффективности, процесс удара топливной струи о

внутреннюю металлическую поверхность осуществляется под углом, равным 45° . Выбор этого значения определяется следующим.

При ударе твердой частицы или глобулы воды, находящейся в топливе о рабочую поверхность активатора, данная частица испытывает сложное трехосное или объемное напряженное состояние. На рис. 3 изображен элемент частицы, которая находится в объемном напряженном состоянии и грани которой представляют собой главные площадки.

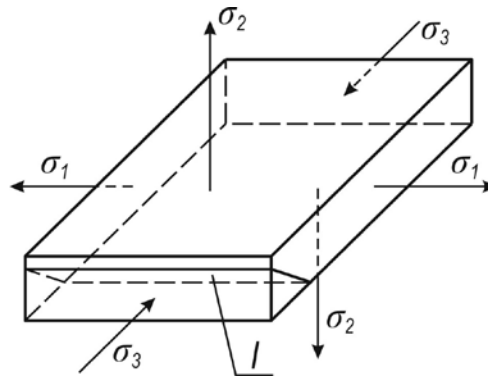


Рис. 3. Элементарный объем твердой примесной частицы, находящейся в топливе

Рассмотрим площадки, параллельные одному из главных напряжений, например, произвольную площадку l , параллельную главному напряжению σ_1 . Напряженное состояние на таких площадках может быть определено аналитически:

$$\sigma_\alpha = \sigma_1 \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2 \cos^2 \alpha_2 + \sigma_3 \cos^2 \alpha_3, \quad (1)$$

$$\tau_\alpha = \sigma_1^2 \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2^2 \cos^2 \alpha_2 + \sigma_3^2 \cos^2 \alpha_3, \quad (2)$$

где σ_α , τ_α – соответственно нормальные и тангенциальные напряжения на площадках;

α_1 , α_2 , α_3 – углы, которые образует нормаль к рассматриваемой площадке с напряжениями σ_1 , σ_2 , σ_3 соответственно.

Легко установить, на каких площадках будет действовать наибольшее касательное напряжение при трехосном напряженном состоянии, и найти его величину. При любом объемном напряженном состоянии наибольшие касательные напряжения будут:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}. \quad (3)$$

Они действуют на площадке, параллельной главному напряжению и наклоненной под углом 45° к главным напряжениям σ_1 и σ_3 .

Далее, если решить задачу удара частицы и определить величину перепада давлений в гидродинамическом активаторе при которой произойдет разрушение, то получится выражение

$$\Delta P = \frac{v_{\min}^2 \cdot \gamma}{2\varphi^2 \cdot g},$$

где ΔP – перепад давлений жидкости на устройстве;

v_{\min} – минимальная скорость струи, при которой в результате удара произойдет разрушение твердой частички в топливе;

γ – удельная масса топлива;

$\varphi=0,92\div 0,94$ – коэффициент скорости, зависящий от характеристики сопла.

Минимальная скорость частицы, находящейся в струе, при которой во время удара произойдет ее разрушение, может быть определена согласно с уравнением Герца для контактной задачи при упругом взаимодействии тел при упруго-гидродинамической смазке

$$v_{\min} = \left(\frac{2,22 \cdot 10^3 \cdot \sigma_g^3 \left((1 - \mu_1^2) E_1 + (1 + \mu_2^2) E_2 \right)}{D \cdot E_1 \cdot E_2} \right)^{1,2},$$

где μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуансона соответственно материала частицы и детали;

E_1, E_2 – модули упругости соответственно материала частицы и детали;

D – диаметр частицы;

σ_g – допустимое напряжение в материале частицы.

Прежде всего, отметим, что наступление разрушения частицы обусловлено касательным напряжением. Величина касательного напряжения зависит от угла удара частицы. Наибольшее касательное напряжения в частице, как видно из уравнений 1–3, возникает при ударе под углом 45° . Таким образом, перепад давлений на устройстве, вызывающем разрушение частиц, в случае реализации удара потока под углом 45° , также будет наименьший. Так, при разрушении кварцевой частицы при прямом ударе перепад давлений составляет 0,4 МПа, в то время как при косом ударе в устройстве, выполненном согласно рис.2, величина составила 0,15 МПа.

Испытания гидродинамического активатора топлива выполнялись как на лабораторном стенде, так и в составе судовой топливной системы. Исследования проводились для разных сортов судового топлива: маловязкого MDO, средневязкого IFO 180 и IFO 180-LS, тяжелого IFO 380 и IFO 380-LS. Измерялись триботехнические характеристики топлива. Параллельно производились измерения ориентационной упорядоченности граничных слоев топлива с помощью структурно-чувствительного метода двойного лучепреломления [4], а также производилось определение силы трения и интенсивности изнашивания в паре плунжер–штулка, согласно методике, предложенной в [1].

Результаты исследований приведены в табл. 1, а также на рис.4 и 5.

В таблице 1 обобщены данные экспериментов по определению силы трения $F_{тр}$, интенсивности изнашивания Ih и комплексного оптического параметра $(\Delta n \cdot d)$ для исследуемых топлив до и после обработки гидродинамическим активатором.

Таблица 1

Результаты исследований

Наименование топлива	$(\Delta n \cdot d) \times 10^5$, мкм		Ih , условные единицы (1,0 – отсутствие износа)		$F_{тр}$, Н	
	до обработки в активаторе	после обработки в активаторе	до обработки в активаторе	после обработки в активаторе	до обработки в активаторе	после обработки в активаторе
MDO	9,8	11,0	3,1	2,6	0,42	0,25
IFO 180-LS	6,4	7,5	4,6	3,8	0,72	0,45
IFO 180	5,2	6,1	5,4	4,9	1,13	0,75
IFO 380-LS	4,0	4,9	6,8	6,1	1,45	1,16
IFO 380	3,6	4,2	8,2	7,1	1,81	1,27

На рис. 4 приведена зависимость $\delta=f(1/d)$, определяющая степень ориентационной упорядоченности молекул в граничном слое, а также толщину граничного смазочного слоя. Здесь под δ понимается оптическая характеристика, а под d – толщина смазочного слоя. Как указывалось в [3, 5], наклон первоначального участка этой зависимости прямо пропорционален степени упорядоченности молекул, а точка перегиба соответствует удвоенной толщине граничного слоя. Таким образом, обработка топлива гидродинамическим активатором повышает оба этих значения, способствуя регенерации его анизотропных свойств.

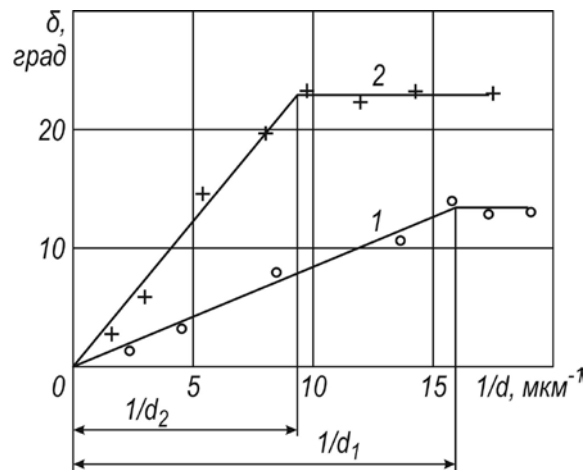


Рис. 4. Зависимость $\delta=f(1/d)$ для средневязкого топлива IFO 180-LS:
1– до, 2 – после обработки в гидродинамическом активаторе

На рис.5. приведена гистограмма сил трения в паре плунжер–втулка, полученных в результате лабораторных исследований. Из рис. 5 видно, что сила трения в указанном сопряжении при работе на активированном топливе ниже, чем на топливе, не подвергшемся обработке. Это также свидетельствует об уменьшении деструктирующего действия воды и механических примесей после гидродинамической активации и повышении регенеративных характеристик топлива.

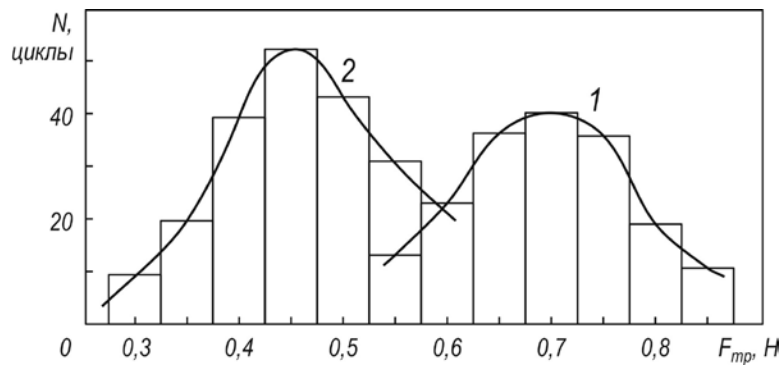


Рис. 5. Гистограмма сил трения в паре плунжер–втулка для средневязкого топлива IFO 180-LS:

1– до, 2 – после обработки в гидродинамическом активаторе

Данные лабораторных исследований были подтверждены для судового дизеля Hanshin 6LF58 и его топливной системы. При этом схема под-

ключения гидродинамического активатора в топливную систему соответствовала фрагменту, показанному на рис. 6.

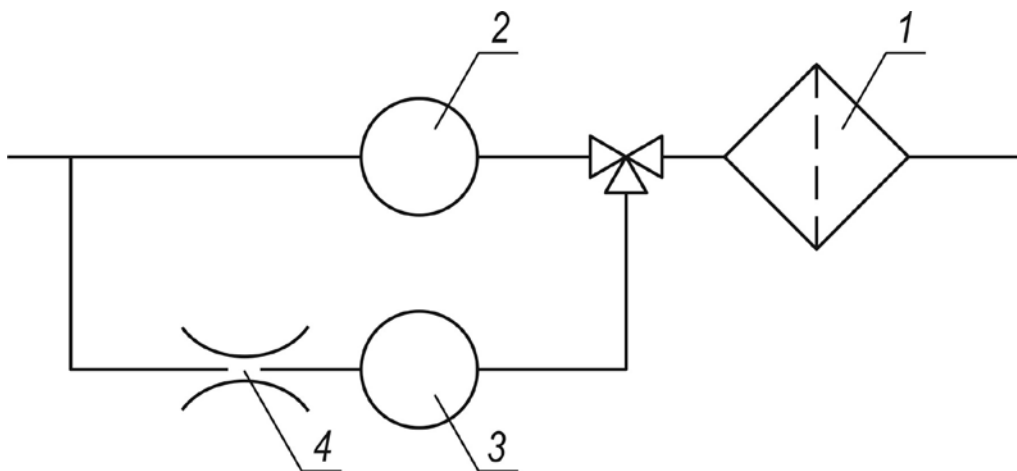


Рис.6. Схема подключения гидродинамического активатора топлива в топливную систему судового дизеля (фрагмент):

1 – сепаратор топлива; 2 – основной топливоподкачивающий насос; 3 – резервный топливоподкачивающий насос; 4 – гидродинамический активатор топлива

При использовании топлива, прошедшего обработку в активаторе, уменьшился износ в парах плунжер–штулка и игла–направляющая распылителя. Общее увеличение ресурса работы элементов топливной аппаратуры высокого давления было оценено следующими значениями: топливный насос высокого давления 23 ± 7 %, распылитель форсунки 12 ± 7 %. Параллельно с топливной системой, гидродинамический активатор устанавливался в системе циркуляционного масла указанного двигателя. Качественные показатели данных испытаний совпадали с вышеизложенными.

Выводы

1. Углеводородные жидкости (топливо и масло), используемые в судовых энергетических установках, обладают анизотропными свойствами, которые наиболее выражено проявляются в узких зазорах вблизи металлических поверхностей.
2. Вода и механические примеси, попадающие в состав как топлива, так и масла, вызывают деструкцию молекул в их граничных слоях, что ухудшает триботехнические свойства углеводородных жидкостей и приводит к снижению уровня надежности судовых энергетических установок (в частности судовых двигателей внутреннего сгорания и обслуживающих их систем).

3. Одним из методов регенерации анизотропных (жидкокристаллических) свойств судовых топлив и масел может считаться использование гидродинамических активаторов, воздействующих на механические примеси и воду, попадающие в топливо или масло, но не изменяющих структуры их молекул.
4. Гидродинамическая регенерация анизотропных (жидкокристаллических) свойств топлива улучшает его триботехнические характеристики, а также приводит к снижению энергетических потерь в парах плунжер–золотник (на 23 ± 7 %) и игла–направляющая распылителя форсунки (на 12 ± 7 %).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мацкевич Д.В., Заблоцкий Ю.В. Определение смазочной способности дизельных топлив // Судовые энергетические установки: Науч. -техн. сб. – Одесса: ОНМА, 2011. – № 28. – С. 145–153.
2. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения судовых дизелей // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. – Одесса: ИнтерПринт, 2012. – № 4. – С.68–81.
3. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. – М.: Физматиз, 1963. – 472 с.
4. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. – Одесса: ИнтерПринт, 2011. – № 3. – С.78–88.
5. Алтоиз Б.И., Поповский Ю.М. Физика приповерхностных слоев жидкости. – Одесса: Астропринт, 1996. – 152 с.

Рукопись поступила в редакцию 20.12.2012 г.