

УДК 621.436

Заблоцкий Ю.В., Мацкевич Д.В.
ОНМА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕРНИСТЫХ ТОПЛИВ НА РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС И ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СУДОВЫХ СРЕДНЕОБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Морские суда, обладающие энергонасыщенными силовыми установками, являются значительными потребителями топливно-энергетических ресурсов. Одним из способов снижения эксплуатационных расходов судовых энергетических установок является использование тяжелых топлив, имеющих более низкую стоимость по отношению к дизельному топливу. В настоящее время использование топлив с повышенной вязкостью характерно не только для малооборотных дизелей (которые традиционно эксплуатируются на топливах подобного качества) и современных высокофорсированных среднеоборотных дизелей (СОД), топливные системы и топливная аппаратура которых спроектированы на работу с тяжелыми топливами, но и СОД предыдущего поколения, ранее эксплуатировавшихся исключительно на дизельном топливе.

Вместе с тем, применение в СОД тяжелых дешевых сортов топлива снижает показатели надежности дизеля в целом и топливной аппаратуры в частности, а также ухудшает его техническое состояние, прежде всего деталей цилиндропоршневой группы и прецизионных пар топливных насосов высокого давления (ТНВД) и форсунок. Поэтому, одной из важнейших проблем, возникающих при эксплуатации судовых энергетических установок, является повышение надежности и долговечности двигателей внутреннего сгорания, количество и модельный ряд которых постоянно увеличивается [1].

В последние годы значительно усовершенствовались все судовые дизели, в том числе СОД. В связи с этим изменились требования к качеству топлива, а также стало в большей степени проявляться влияние его эксплуатационных характеристик на эффективность топливоиспользования. Эксплуатационные свойства топлива влияют не только на энергетические и экономические параметры работы судового дизеля, но и непосредственно определяют его хранение, транспортировку, перекачку, подачу, а также развитие рабочего процесса [2]. Стремление судовладельцев и чартерных компаний к снижению эксплуатационных затрат, приводит к максимально возможному использованию в

судовой энергетике высоковязких сортов топлива с низкой стоимостью. При этом данные топлива характеризуются повышенным удельным весом и высоким содержанием сернистых соединений. Сера и ее соединения в качестве естественной составляющей входят в состав сырой нефти в виде элементарной серы, сероводорода и различных органических соединений (меркаптанов, сульфидов, дисульфидов, которые, обладая невысоким молекулярным весом, являются наиболее коррозионно активными и вызывают коррозионный износ и усиленное смолообразование в топливной аппаратуре).

В современных судовых СОД с целью снижения эксплуатационных расходов используются высоковязкие топлива с максимально допустимым содержанием серы. Основными топливами для судовых СОД являются топлива дизельное маловязкое MDO (Marine Diesel Oil) с вязкостью $50 \text{ мм}^2/\text{с}$; моторное средневязкое HFO180 (Heavy Fuel Oil) – с вязкостью $180 \text{ мм}^2/\text{с}$; моторное тяжелое HFO 380 – с вязкостью $380 \text{ мм}^2/\text{с}$. При особых условиях работы используют аналогичные марки топлива с пониженным содержанием серы HFO180-LS (Low Sulfur) и HFO380-LS.

Содержание серы в топливе также оказывает свое влияние на такой параметр, как его смазывающая способность, которая оценивается по величинам износа, критической нагрузке заедания металлов и сил трения (коэффициента трения). В ряде случаев более важной для практики характеристикой топлива является его противоизносные свойства, а не смазочная способность. Это объясняется тем, что для многих агрегатов (топливных, гидравлических), работающих в среде низкомолекулярных углеводородных жидкостей (масла или топлива), более важна защита их от повышенного износа, чем некоторое снижение мощности привода вследствие уменьшения сил трения.

Основным узлом дизеля, в котором может эффективно использоваться смазывающая способность топлива, является его топливная аппаратура, в частности плунжера ТНВД и распылители форсунок. Для углеводородных жидкостей соблюдается следующее правило: улучшение противоизносных свойств приводит к улучшению смазывающей способности. Но из этого правила есть исключения, прежде всего, при граничном трении, которые характерны именно для ТНВД. В этом случае определяющую роль играют особые «квазикристаллические» свойства топлива, которые зачастую не описываются расчетными методами, а определяются экспериментально [4].

Смазочное действие топлива в реальных условиях работы ТНВД проявляет себя в сложной совокупности, определяемой условиями трения, поэтому тяжелые условия работы топливной аппаратуры выдвигают повышенные требования к триботехническим характеристикам как самих прецизионных пар, так и топлив, используемых в СОД [5].

Учитывая изложенное, в работе выполнялись исследования влияния сернистых топлив на эксплуатационные и экономические параметры работы судового СОД, а также на техническое состояние его топливной аппаратуры высокого давления.

Эксперименты выполнялись на трех однотипных судовых СОД S6A2 фирмы «Mitsubishi», имеющих автономную топливную систему. Это позволяло проводить параллельные исследования для различных сортов топлива. Во время эксперимента дизеля имели одинаковое техническое состояние и эксплуатировались при одинаковых нагрузках.

В качестве эксплуатационных характеристик определялись температура газов перед газотурбоагрегатом (ГТА) и максимальное давление сгорания, которые измерялись с помощью штатных средств диагностики. Эти параметры относятся к основным, по которым происходит регулирование рабочего процесса дизеля и определение рассогласования нагрузки по цилиндрам. За экономическую характеристику принимался удельный эффективный расход топлива.

Исследования проводились для разных сортов судового топлива: маловязкого MDO, средневязкого HFO180 и HFO180-LS, тяжелого HFO 380 и HFO380-LS.

Результаты исследований приведены в табл. 1 и на рис. 1, 2, 3.

При использовании топлив с повышенным содержанием серы в его структурном составе возрастает температура газов перед ГТА, а вместе с ней и тепловые нагрузки на весь дизель.

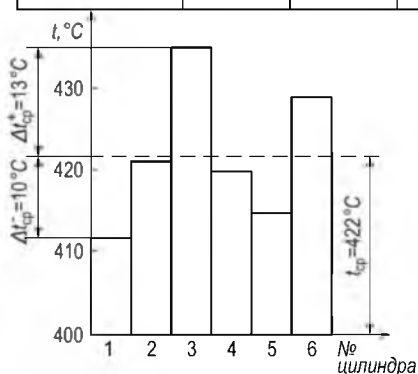
Возрастание степени рассогласования величины максимального давления сгорания по цилиндрам дизеля свидетельствует как о повышении триботехнических потерь в элементах топливной аппаратуры дизеля, так и худшем распыливании топлива.

Кроме того, при проведении экспериментов оценивалось техническое состояние топливной аппаратуры дизеля.

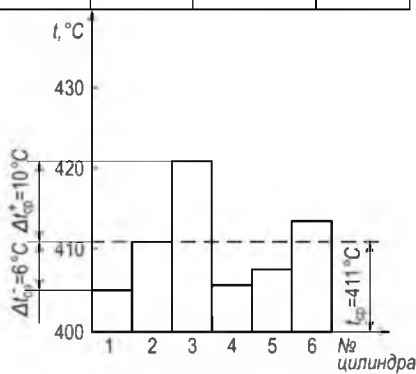
Высокая энергоемкость и насыщенность топливной системы судовых дизелей характеризуется самым ответственным, с точки зрения обеспечения надежности, трибоузлом – парой трения плунжер–втулка ТНВД и парой трения игла форсунки – корпус распылителя.

Таблица 1. Влияние различных топлив на показатели рабочего процесса судового СОД S6A2

Марка топлива	Содержание серы в топливе, S % по массе	Средняя температура газов перед ГТН, $t_{гп}$, °C	Максимальное отклонение температуры газов перед ГТН от среднего значения, °C	Максимальное давление сгорания, P_z , МПа	Отклонение максимального давления сгорания от среднего значения, %	Удельный эффективный расход топлива, $b_{эф}$, г/(кВт·час)
MDO	0,1	405	8	12,55	1,56	191
HFO180-LS	0,5	411	10	12,5	2,43	196
HFO180	1,1	414	12	12,6	2,71	197
HFO380-LS	1,6	418	12	12,5	2,63	201
HFO380	2,8	422	13	12,6	3,28	204



а)



б)

Рис. 1. Рассогласование температуры газов перед ГТН по цилиндрам судового СОД S6A2 при работе на различных топливах: а – высоковязкое IFO 380; б – средневязкое с низким содержанием серы IFO 180-LS

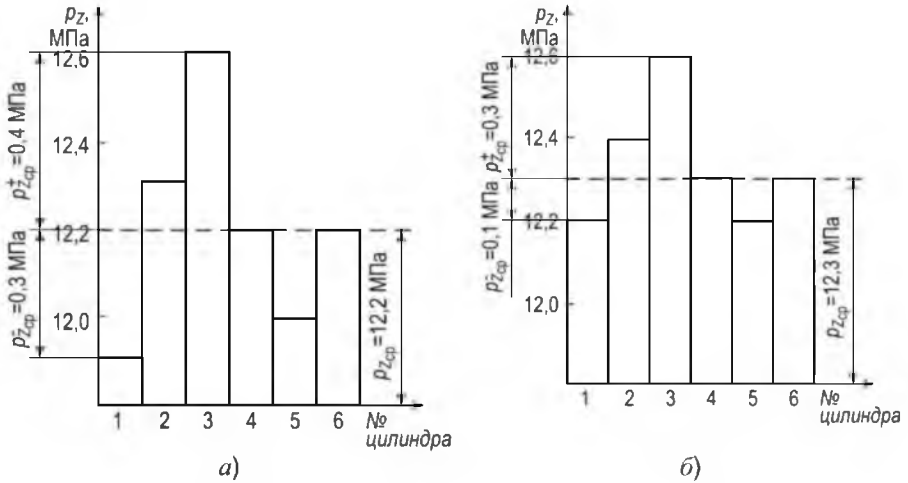


Рис. 2. Рассогласование максимального давления сгорания по цилиндрам судового СОД S6A2 при работе на различных топливах: а – высоковязкое HFO380; б – средневязкое с низким содержанием серы HFO180-L

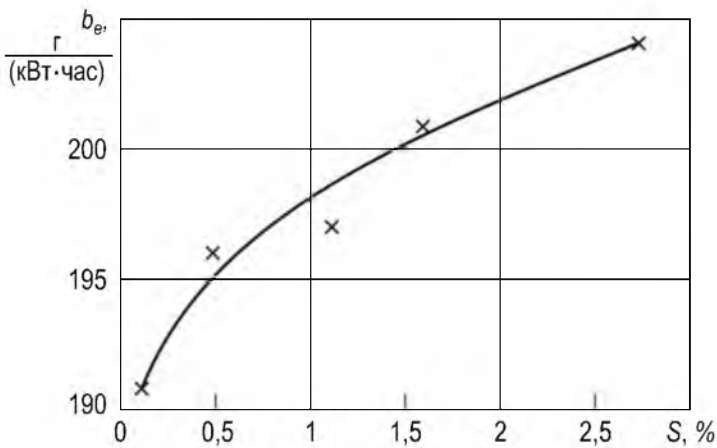


Рис. 3. Влияние содержания серы в топливе на удельный эффективный расход судового СОД S6A2

Повышенный износ или заклинивание в данных трибосопряжениях приводит к отказу не только в отдельно взятом ТНВД, но и к нарушению в работе всей топливной системы высокого давления. На рис. 4, 5 показаны наиболее интенсивные зоны изнашивания преци-

зионных пар топливной системы высокого давления, а также интенсивность распределения износа по длине элемента.

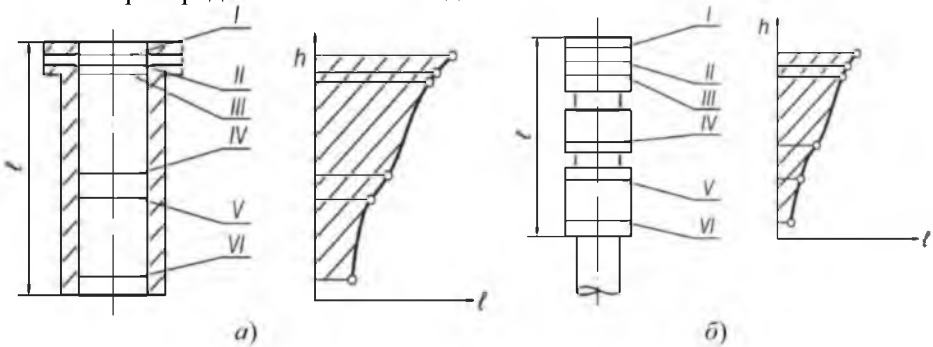


Рис. 4. Зоны и интенсивность изнашивания элементов ТНВД: а) втулка плунжера; б) плунжер ТНВД

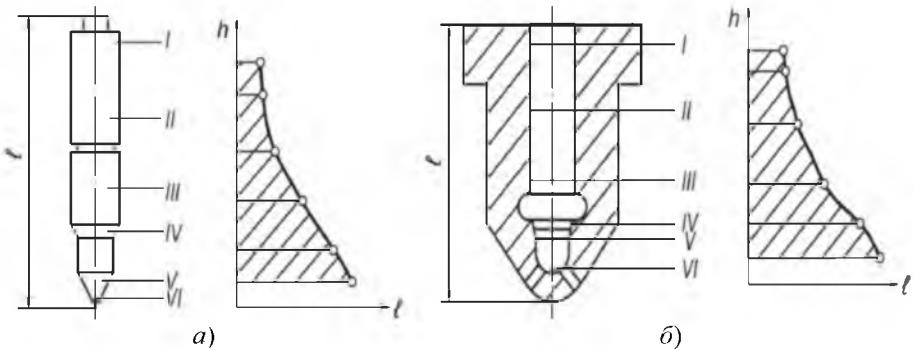


Рис. 5. Зоны и интенсивность изнашивания на игле форсунки (а) в корпусе распылителя (б)

Изложенные утверждения были проверены и подтверждены на топливной аппаратуре судовых дизелей, установленных на транспортных судах. Результаты этих исследований представлены в таблице 2, где приведены значения износа и интенсивности изнашивания прецизионных пар топливной аппаратуры различных дизелей за 1000 часов работы.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что стремление обеспечить эксплуатацию судовых СОД на относительно дешевых сортах топлива, характеризующихся повышенными вязкостью и содержанием серы, приводит к ухудшению эксплуатационных пара-

метров работы дизеля и технического состояния его элементов, в частности плунжеров ТНВД.

Таблица 2. Износ прецизионных пар топливной аппаратуры судовых СОД

Тип дизеля, марка топлива, содержание серы в топливе	Прецизионная пара	Общий износ, мм	Интенсивность изнашивания, мм/час
Mitsubishi S6A2, HFO180-LS, S = 0,5%	плунжер–втулка	5,7·10 ⁻³	4,8·10 ⁻¹⁰
	игла–распылитель	3,3·10 ⁻³	2,7·10 ⁻¹⁰
Volvo Marine Engines D122, HFO380-LS, S = 1,6 %	плунжер–втулка	6,8·10 ⁻³	5,4·10 ⁻¹⁰
	игла–распылитель	4,2·10 ⁻³	2,9·10 ⁻¹⁰
S.E.M.T. – Pielstick 8PC-2-5L, HFO380, S = 2,8 %	плунжер–втулка	8,2·10 ⁻³	5,6·10 ⁻¹⁰
	игла–распылитель	5,3·10 ⁻³	3,1·10 ⁻¹⁰

Таким образом, одной из задач современной эксплуатации судовых технических средств является нахождение оптимальных затрат на топливо и его подготовку при минимальных эксплуатационных расходах на поддержание требуемого технического состояния и параметров работы судовых дизелей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конкс Г.А., Лашко В.А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта. – М.: Машиностроение, 2005. – 512 с.

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

3. Мацкевич Д.В., Заблоцкий Ю.В. Определение смазочной способности дизельных топлив // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2011. – № 28. – Одесса: ОНМА. – С. 145–153.

4. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. – М.: Физматиз, 1963. – 472 с.

5. Сагин С.В. Триботехнические процессы, протекающие в топливной аппаратуре судовых дизелей // Проблемы техники: науч.-вироб. журн. – 2013. – № 2. – С. 33-42.