

Г. Л. СОСКИНД

**ИССЛЕДОВАНИЕ
КОРРОЗИОННЫХ
ПОВРЕЖДЕНИЙ
ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ
ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ
СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ**

ТАЛЛИН, 1960

Ер. 6.7

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
Серия А № 181 1960

Г. Л. СОСКИНД

ИССЛЕДОВАНИЕ
КОРРОЗИОННЫХ
ПОВРЕЖДЕНИЙ
ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ
ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ
СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

ТАЛЛИН, 1960

Аннотация

Брошюра посвящена актуальному вопросу эксплуатации морских судов. Изложены результаты исследований причин и механизма коррозии, а также методы защиты прецизионных деталей топливной аппаратуры судовых дизелей от коррозионных повреждений.

Ер. 4254



ВВЕДЕНИЕ

Нормальная и длительная эксплуатация дизелей без существенных изменений параметров рабочего процесса во многом зависит от состояния топливной аппаратуры, надежность работы которой определяется в первую очередь качеством и состоянием прецизионных элементов топливных насосов и форсунок.

Практика эксплуатации дизелей морского флота показывает, что плунжерные пары топливных насосов и иглы форсунок с их направляющими нередко подвергаются значительным коррозионным повреждениям (рис. 1 и 2). Коррозия прецизионных деталей влечет за собой заедание этих пар, или чрезвычайно быстрый их износ. Последний уже при сравнительно небольшой весовой потере металла нарушает герметичность элементов топливной аппаратуры. В результате этого топливные насосы и форсунки двигателя преждевременно приходят в негодность.

Особенно часто по причине коррозии выходят из строя прецизионные детали топливной аппаратуры дизелей рыбопромысловых судов при их эксплуатации на сернистом дизельном топливе в условиях Северной Атлантики и других районов, где указанные детали, как правило, подвергаются значительной коррозии. Распылители форсунок приходится иногда менять даже через 25—50 часов работы.

Проблема защиты топливной аппаратуры от коррозионных повреждений является одним из важных вопросов эксплуатации судовых дизелей*. Без правильной постановки и решения данного вопроса невозможно обеспечить бесперебойную и безаварийную работу морского флота. Несмотря на это, до последнего времени этот тип

* Здесь, как и в дальнейшем, под судовыми дизелями подразумеваются двигатели морского торгового и промыслового флота.

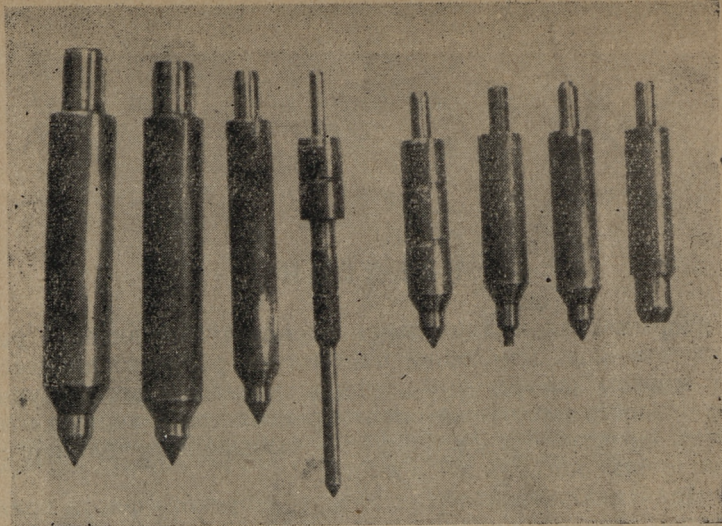


Рис. 1. Корродированные иглы форсунок судовых дизелей.

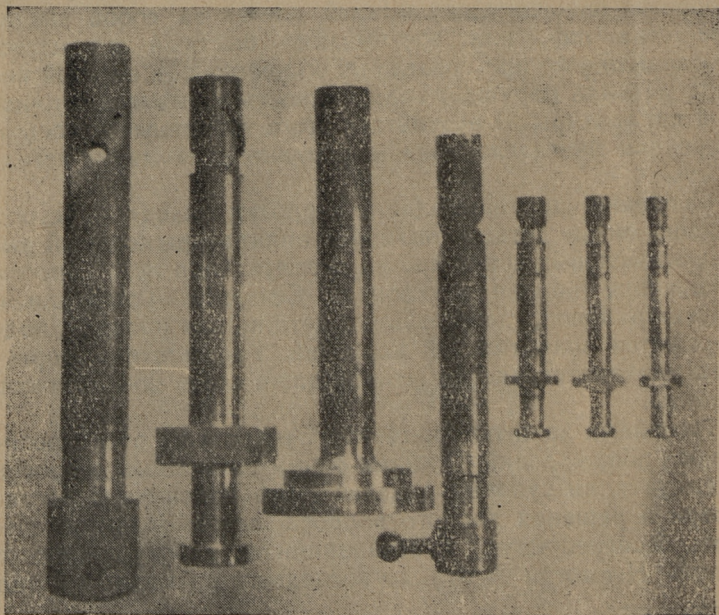


Рис. 2. Корродированные плунжеры топливных насосов судовых дизелей.

коррозии не был систематически исследован, а его механизм оставался полностью невыясненным. Настоящее исследование ставило своей задачей изучить причины и механизм коррозии, получить количественные данные коррозионной стойкости материалов, применяемых для изготовления прецизионных пар топливной аппаратуры, установить влияние конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов, а также разработать методы защиты прецизионных деталей от повреждения коррозией и повышенного износа.

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПАР

1. Теория механизма процесса повреждений

О причинах, вызывающих коррозионные повреждения прецизионных элементов топливной аппаратуры судовых дизелей, до сих пор существует несколько мнений. Ряд авторов [1, 2] и др. считают, что причиной коррозии прецизионных пар является агрессивность сернистого топлива. Проведенные же М. С. Смирновым исследования [3] показали, что дизельное топливо с содержанием серы до 1,25% обеспечивает надежную работу топливной аппаратуры, не вызывая коррозии этих деталей.

Как известно, углеводороды в чистом виде неактивны ко всем металлам. Дизельные же топлива, получаемые из восточных нефтей, отличаются высоким содержанием серы, соединения которой — сероводород и меркаптаны, а также элементарную серу обычно относят к коррозионно активным агентам, вызывающим коррозию топливных емкостей, трубопроводов и других деталей, соприкасающихся с топливом. Коррозионное воздействие на металлы активных сернистых соединений усиливается при наличии в топливе влаги.

В связи с поставками для нужд флота дизельного топлива по ГОСТ 305—58 с содержанием серы до 1%, возникли опасения возможности коррозионного воздействия его (топлива) на детали топливной аппаратуры. Хотя по существующим ГОСТ сероводород и элементарная сера в топливе являются браковочными признаками и

удаляются при нефтепереработке, однако в процессе эксплуатации не исключены возможности присутствия в сернистых дизельных топливах активной серы. Меркаптаны же имеются почти в каждом сернистом топливе. Возможен переход меркаптанов и других серноорганических соединений из одной формы в другую с образованием углеводородов и сероводорода [4]. При наличии в топливе элементарной серы и парафиновых углеводородов сероводород может также образоваться в процессе хранения дизельного топлива. На этом принципе, как известно, основан способ получения сернистого водорода.

Возможно [1], и, наоборот, образование элементарной серы при окислении сероводорода во время хранения топлива.

Особенностью эксплуатации дизельных установок морских судов является обводнение топлива. При интенсивном перемешивании дизельного топлива с водой, имеющем место при бункеровке судна, перекачке топлива из одной цистерны в другую, вибрации элементов топливной системы и т. п., а также при наличии в дизельном топливе продуктов его окисления, являющихся эмульгаторами, могут образовываться более или менее стойкие водотопливные эмульсии. В этом случае вода долгое время остается в топливе в виде мельчайших частиц, осаждение которых затрудняется непрерывной качкой судна.

Морская вода, находящаяся в топливе не только отдельным слоем, но и даже в виде капель, может вызвать сильные коррозионные разрушения стальных деталей. Содержание хорошо диссоциирующих солей делает морскую воду электролитом с высокой электропроводностью, а большое содержание хлор-иона сообщает ей повышенную активность по отношению к большинству современных конструктивных металлов, в том числе и к легированным сталям. Даже для сталей высоколегированных хромом пассивное состояние в морской воде является недостаточно устойчивым [5].

Из вышеизложенного следует, что другой причиной, вызывающей коррозию прецизионных пар топливной аппаратуры судовых дизелей, может быть обводнение дизельного топлива, в том числе малосернистого, морской водой. Эмульгированная влага, нарушая сплошность сма-

зочной пленки и осаждаясь на поверхностях деталей, образует пленку, под которой протекает процесс электрохимической коррозии.

Анализ корродированных плунжерных пар топливных насосов и распылителей форсунок дизелей морских теплоходов: 8ДР30/50, R6DV148, R8DV136, 4DV224, 4Ч10,5/13, Д6, М50, 9Д, 6Д и других показывает, что коррозионные повреждения локализуются главным образом на сопряженных (трущихся) поверхностях в виде местной неравномерной коррозии, распределенной язвами и пятнами в сочетании с точками. Поверхности же вырезов, сверлений, фасок, кольцевых канавок и другие нетрущиеся поверхности, как правило, не корродируют. Это позволяет сделать вывод, что при работе двигателя непрерывное механическое разрушение защитных поверхностных пленок и даже самой металлической поверхности деталей рабочих элементов топливной аппаратуры вследствие трения их друг о друга значительно усиливает протекание процесса коррозии.

Таким образом, процесс коррозионных повреждений прецизионных пар следует рассматривать как протекание двух сопряженных процессов: химического или электрохимического взаимодействия металла с агрессивной средой и механического фактора (трения).

Исследование причин, вызывающих коррозионные повреждения прецизионных пар, производилось на образцах в статических условиях, специально оборудованном стенде (рис. 3) и лабораторном двигателе 4Ч10,5/13.

Так как вопрос коррозии прецизионных деталей активными сернистыми соединениями недостаточно изучен, то потребовалось исследовать их коррозионное воздействие искусственным введением этих агентов в топливо.

Проведенные нами исследования показали, что дизельное топливо с содержанием общей серы до 2%, а также добавление к товарному топливу активных сернистых соединений — меркаптанов до 0,15%, сероводорода до 0,01% и элементарной серы до 0,01% — не вызвало заметной коррозии прецизионных деталей, изготовленных из стали марок Р18, ХВГ и 18ХНВА. Присутствие в топливе активной серы и его обводнение 1% пресной воды с содержанием солей 0,105 г/л привело к увеличению износа этих деталей (рис. 4).

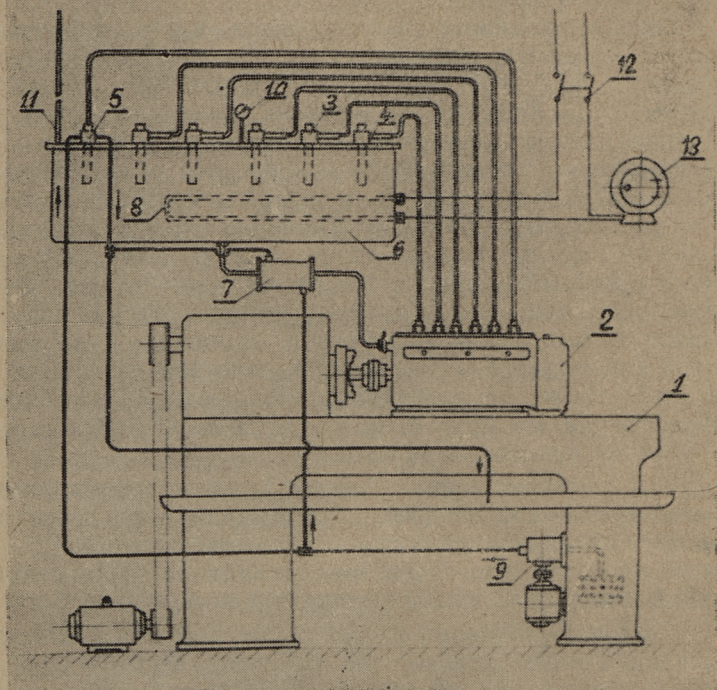


Рис. 3. Схема экспериментального стенда.

1 — токарный станок; 2 — топливный насос двигателя Д6; 3 — форсунки; 4 — щелевой фильтр форсунки; 5 — охлаждаемая форсунка; 6 — топливный бак; 7 — топливный холодильник; 8 — электроподогреватель; 9 — электронасос; 10 — дистанционный термометр; 11 — вентиляционная трубка; 12 — рубильник; 13 — реле-регулятор электропечи.

Опыты же на образцах в статических условиях и испытания, проведенные на экспериментальном стенде и лабораторном двигателе, показали, что морская вода, находящаяся в дизельном топливе в количестве до 1%, вызывает значительные коррозионные повреждения прецизионных деталей топливной аппаратуры дизелей. Несмотря на непродолжительный срок испытаний на экспериментальном стенде, коррозионный износ плунжерных пар двигателя Д6 достиг $1,6 \text{ мг/см}^2$, что соответствует уменьшению диаметра плунжера на $3,5 \text{ мк}$ за 50 часов

работы. Коррозионный износ игл форсунок дизеля 4Ч10,5/13 достиг $4,8 \text{ мг/см}^2$, чему соответствует уменьшение диаметра иглы около 10 мк за 32 часа работы лабораторного двигателя. Рассматриваемая коррозия приводит к заеданиям или сильному износу прецизионных пар и их окончательному браку.

Исходя из вышеизложенного можно считать установленным, что причиной коррозии прецизионных деталей

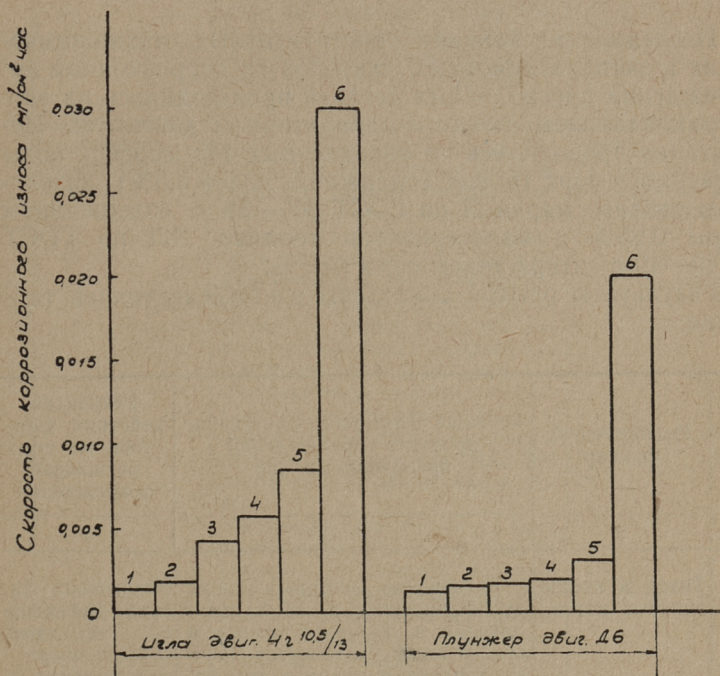


Рис. 4. Влияние активных сернистых соединений, искусственно введенных в дизельное топливо, на коррозионный износ прецизионных пар.

Число оборотов насоса экспериментального стенда $n = 750 \text{ об/мин}$, температура топлива $t = 60^\circ\text{C}$, материал — сталь ХВГ.

- 1 — чистое дизельное топливо ($S = 0,95\%$);
- 2 — добавка $0,01\%$ элементарной серы;
- 3 — добавка $0,15\%$ меркаптанов;
- 4 — добавка $0,01\%$ сероводорода;
- 5 — добавка $0,01\%$ сероводорода и 1% пресной воды с содержанием солей $0,105 \text{ г/литр}$;
- 6 — добавка к топливу 1% морской воды Северного моря.

топливной аппаратуры судовых двигателей является не агрессивность сернистого топлива, подтверждающаяся практикой эксплуатации, а его обводнение, и особенно морской водой.

2. Влияние конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на повреждения прецизионных пар

Исследование влияния конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на коррозионные повреждения прецизионных деталей производилось на экспериментальном стенде и лабораторном двигателе. Испытания проводились на обводненных 1% морской воды Северного моря (общее содержание солей 3,5%), дизельном топливе марки Л по ГОСТ 305—58 с содержанием серы 0,95% и малосернистом топливе ДЛ по ГОСТ 4749—49 с содержанием серы 0,01%.

Результаты опытов приведены в нижеследующей таблице:

№л пп	Исследуемый фактор	Влияние фактора на протекание процесса повреждений прецизионных пар	Результат действия фак- тора на кор- розионные повреждения
1	2	3	4
1.	Зазор в преци- зионных парах	Увеличение зазора между иглой форсунки и ее направ- ляющей, а также плунжером и его втулкой увеличивает утеч- ки топлива в парах и тем са- мым увеличивает подвод аг- рессивной среды и воздуха к корродирующей поверхности. Однако, несмотря на это, с уве- личением зазора улучшаются условия смазки деталей и уменьшается сила трения, сни- жающая воздействие механиче- ского фактора на коррозию, замедляющего в итоге корро- зионные повреждения прецизи- онных пар	Увеличение за- зора эффектив- но замедляет коррозионные повреждения

1	2	3	4
2.	Охлаждение форсунок	Охлаждение форсунок понижает температуру топлива, а следовательно, тормозит развитие процесса электрохимической коррозии. Кроме того, при этом уменьшается вязкость топлива, протекающего вдоль иглы, что улучшает смазку трущихся поверхностей, снижающей также влияние механического фактора на коррозию	Замедляет процесс коррозии
3.	Марка стали, герметическая обработка и покрытие	Материалы, применяемые для изготовления прецизионных пар топливной аппаратуры дизелей, обладают низкой коррозионной стойкостью по отношению к дизельному топливу, обводненному морской водой. Наивысшую стойкость показали цианированные стали P18 и P9, а также эти марки стали без химико-термической обработки. Наиболее чувствительной к обводненному топливу оказалась азотированная сталь — скорость коррозионного износа плунжера двигателя ЯАЗ-204 достигла 0,55 мг/см² час и более. Хромирование плунжера хотя и обеспечивает его защиту от коррозии и износа, однако, вследствие разнородности покрытия плунжера и материала втулки, вызывает увеличение коррозии последней в два раза	Цианирование сталей P18 и P9 ($R_c = 70$) повышает износостойкость пар
4.	Чистота обработки сопряженных поверхностей	С понижением класса чистоты механической обработки сопряженных поверхностей коррозионная стойкость деталей существенно падает вследствие попадания воды во впадины поверхности и увеличения первоначального износа, улучшающих условия для возникновения локальных центров коррозии	Понижение класса чистоты обработки поверхности усиливает коррозию

1	2	3	4
5.	Геометрическая форма сопряженных поверхностей	Отклонения от правильной геометрической формы (овальность, конусность и т. п.) сопряженных поверхностей усиливают процесс коррозии. При этом топливо, проникающее в кольцевой зазор, вызывает боковые давления и местное трение, усиливающее действие механического фактора на коррозионный процесс	Отклонения от правильной формы усиливают коррозию.
6.	Поперечные кольцевые канавки	Поперечные канавки улучшают условия смазки трущихся поверхностей и разгружают детали от боковых давлений, что ослабляет воздействие механического фактора на коррозию	Оказывают некоторые замедляющие действие
7.	Сорт топлива	Коррозионные повреждения прецизионных пар при работе на сернистом топливе, обводненном морской водой, и мало-сернистом топливе практически одинаковы, независимо от содержания серы. Однако сернистое топливо, содержащее непредельные углеводороды, меркаптаны и другие мало-стойкие сероорганические соединения, по сравнению с топливом по ГОСТ 4749—49, менее стабильно и более склонно к смолообразованию при хранении. Поэтому в процессе эксплуатации сернистое дизельное топливо может создавать более стойкие водотопливные эмульсии, способствующие переносу воды в топливную аппаратуру	Не оказывает существенного влияния
8.	Температура деталей	С повышением температуры деталей скорость их коррозии возрастает, так как усиливается электрохимическая коррозия и уменьшается вязкость топлива, ухудшающая смазку трущихся поверхностей, и тем самым усиливающая воздействие механического фактора на кор-	Повышение температуры деталей усиливает процесс коррозии

1	2	3	4
		розионный процесс. Иглы форсунок при температуре корпуса распылителя 110° С и температуре топлива 20° С корродировали в 5 раз интенсивней игл, направляющая которых имела температуру 40° С	
9.	Температура топлива	Температура топлива оказывает большое влияние на коррозионные повреждения прецизионных пар. С повышением температуры топлива скорость коррозии деталей вначале возрастает, так как усиливается электрохимическая коррозия, достигая максимальной скорости повреждений в интервале температур 55—65° С, а затем падает вследствие уменьшающейся растворимости кислорода и снижения эффективности катодного процесса. При подогреве топлива до температуры 110—125° С дизельное топливо, обводненное морской водой, не вызывает коррозии прецизионных деталей, ибо испаряется агрессивная фаза (вода) и удаляются растворенный кислород и другие активные компоненты	Повышение температуры топлива усиливает коррозионные повреждения. Высоко же температурный подогрев топлива (до 110—125°С) ликвидирует процесс коррозии
10.	Механические примеси, образующиеся в процессе эксплуатации	Применение дизельного топлива, загрязненного ржавчиной, усиливает коррозионные повреждения прецизионных пар, так как она усиливает износ и повышает влияние механического фактора на процесс коррозии, а также способствует переносу воды в топливную аппаратуру	Усиливают процесс коррозии
11.	Число оборотов двигателя	Число оборотов кулачкового вала топливного насоса существенно сказывается на скорости протекания коррозионных повреждений прецизионных элементов топливной аппаратуры	Оказывает сложное влияние на коррозионные повреждения

1	2	3	4
		С изменением числа оборотов изменяется количество протекающего топлива (утечки), определяющего условия смазки трущихся поверхностей, подвод агрессивной среды и воздуха к корродирующим поверхностям, а также меняется скорость разрушения защитных пленок. Установлено, что прецизионные детали корродируют главным образом при работе двигателя, т. е. в условиях протекания агрессивной среды и трения деталей	
12.	Износ прецизионных деталей	Неравномерный износ сопряженных поверхностей деталей, приводящий к нарушениям правильности геометрической формы, усиливает действие механического фактора на коррозию. Следы износа (натиры, риски и т. п.) способствуют образованию локальных центров коррозии	Усиливает процесс коррозии

Итоги исследования влияния вышеуказанных факторов подтвердили установленный нами механизм повреждений прецизионных пар, заключающийся в одновременном воздействии коррозионного и механического факторов: электрохимическая коррозия, обусловленная присутствием в топливе морской воды, значительно усиливается трением деталей.

II. ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ ОТ КОРРОЗИИ

Установление механизма коррозионного процесса позволило выбрать средства, замедляющие или целиком исключаяющие воздействие факторов рассматриваемых повреждений, и тем самым предохранить прецизионные пары топливной аппаратуры от коррозии и усиленного износа.

Исследование методов защиты производилось в лабораторных условиях и на судах Эстонской рыбопромысловой экспедиционной базы (ЭРЭБ).

Были исследованы следующие методы:

- а) очистка топлива от воды перед подачей его в топливную аппаратуру, исключая коррозионный фактор повреждений;
- б) охлаждение форсунок, ослабляющее действие коррозионного и механического фактора;
- в) увеличение зазора в прецизионных парах, понижающее воздействие механического фактора на коррозию;
- г) добавление антикоррозионной присадки к топливу, нейтрализующее действие коррозионного фактора.

Очистка дизельного топлива от воды

Как известно, обводнение топлива на морских судах явление нередкое. Фильтры двигателей и даже установленные на многих судах сепараторы (как правило, без предварительного подогрева) отделяют полностью лишь механические примеси. Способ же очистки топлива отстаиванием является несовершенным, особенно при качке судна, когда осаждение воды и механических примесей затрудняется.

Как правило, вода с дизельным топливом не образует устойчивых эмульсий. В условиях же эксплуатации морских судов, как уже указывалось, водяная фаза диспергирует в топливной среде, образуя более или менее стойкие гидрофобные эмульсии. В этом случае вода остается в топливе в виде мельчайших микроскопических шариков долгое время, достаточное для попадания эмульгированной воды в топливную аппаратуру двигателей.

Анализ остатков топлива в цистернах промысловых судов ЭРЭБ во время ремонта после возвращения из Северной Атлантики показал, что нижний слой представляет собой морскую воду (общее содержание солей 2,5—3%), на поверхности которой плавают смолистые продукты со ржавчиной (шлам), а над ними находится эмульсия в виде «вода в топливе». Содержание воды в этих эмульсиях составляло от 0,57 до 0,82% по объему. При этом анализ топлива сернокислым способом (по ГОСТ 2550—44) показал наличие значительного коли-

чества смолистых веществ (до 5% по объему), играющих, как известно, роль эмульгатора.

Исследование искусственно созданных эмульсий дизельных топлив с водой показало, что их стойкость зависит от целого ряда факторов: продолжительности диспергирования, солености воды, содержания смолистых веществ и механических примесей в топливе, вязкости, температуры, процента содержания воды и т. п. С увеличением продолжительности встряхивания, вязкости топлива, солености воды, содержания смолистых веществ и механических примесей стойкость эмульсии «дизельное топливо — вода» возрастает. С увеличением же температуры стойкость этих эмульсий уменьшается, а при температуре 50—60°C водотопливная эмульсия становится нестабильной.

Для исключения коррозионного фактора, повреждающего детали, и обеспечения нормальной эксплуатации топливных насосов и форсунок судовых двигателей, дизельное топливо, особенно сернистое, перед подачей его в топливную аппаратуру должно быть подвергнуто такой очистке, которая удаляла бы полностью не только механические примеси, но и воду, находящуюся в топливе. Лабораторные исследования показали, что наиболее эффективным способом защиты топливной аппаратуры от коррозии является высокотемпературный (до 110—125° С) подогрев топлива, обеспечивающий испарение воды и удаление растворенного кислорода и других активных компонентов.

Другим способом удаления воды может служить сепарирование топлива с предварительным подогревом до температуры 55—65° С, так как при этом достигается не только уменьшение вязкости, но и резко снижается стойкость эмульсий и шлама.

Наблюдения на танкере «Нара», топливная система которого оборудована сепаратором и подогревом дизельного топлива, показали положительное действие предварительного подогревания топлива на предохранение прецизионных пар топливной аппаратуры двигателей этого судна от коррозионных повреждений. Предварительный подогрев дизельного топлива до температуры 60° С при его сепарировании обеспечивает практически удаление воды, находящейся в дизельном топливе.

Однако при сепарировании топлива без подогрева на

этом же судне наблюдаются значительные коррозионные повреждения прецизионных деталей топливной аппаратуры главных и вспомогательных двигателей.

Охлаждение форсунок

Лабораторные исследования охлаждения форсунок показали, что охлаждение распылителей оказывает заметное замедление коррозии игл и их направляющих и обеспечивает стабильную работу форсунок. На иглах охлаждаемых форсунок были обнаружены еле заметные следы коррозии. В то же время распылители неохлаждаемых форсунок подверглись значительной коррозии и иглы часто заедали в иглодержателе.

Однако замеры (рис. 5) показали, что даже при

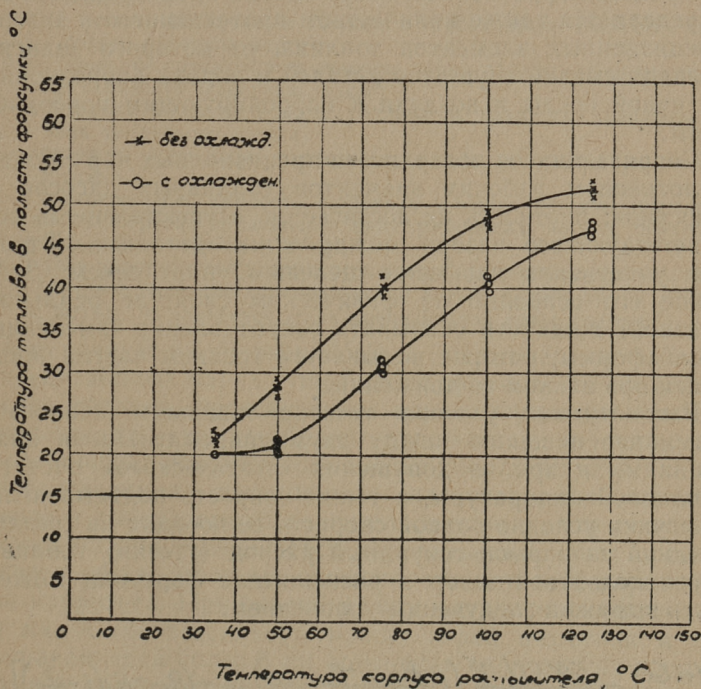


Рис. 5. Влияние охлаждения распылителя на температуру топлива в полости (кармане) экспериментальной форсунки.

охлаждении форсунки водой и температуре наружной поверхности иглодержателя 125° С, температура топлива в кармане распылителя повышается с 20 до 48° С. Это позволяет сделать вывод об ограниченных возможностях охлаждения форсунок замедлять коррозионные повреждения иглы и ее направляющей.

Натуральные испытания, проведенные на главном двигателе R6DV148 траулера СРТ-4327 в условиях промысла в Северной Атлантике, также показали, что охлаждение форсунок замедляет процесс коррозии, но практически мало сказывается на предотвращении коррозионных повреждений иглы и корпуса распылителя.

Увеличение зазора в прецизионных парах

Процесс коррозионных повреждений прецизионных пар определяется также количеством протекающего в зазоре прецизионных элементов топлива, от которого зависят условия смазки трущихся деталей и подвод коррозионно активной среды и воздуха к корродирующим поверхностям.

Сопрягающиеся поверхности прецизионных пар служат уплотнением рабочих элементов топливных насосов и форсунок; плотность их достигается осуществлением соответствующего зазора между этими деталями. Такой тип уплотнения называют щелевым уплотнением. Действие его основано на физическом свойстве реальной (вязкой) жидкости оказывать сопротивление изменению своей формы, которое вызывается трением частиц жидкости при всяком ее движении.

Рассматривая условия течения жидкости аналогичными перемещению между двумя параллельными пластинками и приняв допущения «статического» расчета топливной аппаратуры, а также скорость подъема иглы форсунки условно равной скорости ее посадки на гнездо, средний за впрыск секундный расход (утечки) топлива через кольцевой зазор в распылителе форсунки может быть выражен следующим уравнением:

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_{\varphi} = \frac{5\pi g d s^3}{\gamma \ell n \nu_{cp}} \left[\left(\frac{P_{max} + P_{ост} - P_0}{2} - P_0 \right) \frac{\varphi}{360} + (P_{ост} - P_0) \left(1 - \frac{\varphi}{360} \right) \right]$$

см³/цикл (I)

Пренебрегая перепадом давления в насосном элементе при закрытом нагнетательном клапане и приняв, что утечки в нем происходят только в момент впрыска, секундный расход топлива через зазор плунжерной пары может быть выражен:

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_n = \frac{15\pi d}{n} \left[\frac{95^3 P_{\max}}{3\gamma l \nu_{cp}} \frac{\varphi}{360} - s(v_1 + v_2) \right] \text{ см}^3/\text{цикл} \dots \dots \dots (II)$$

В зависимых (I) и (II):

- d — номинальный диаметр иглы форсунки (плунжера насоса), см;
- g — ускорение силы тяжести, см/сек²;
- s — радиальный зазор между иглой форсунки и ее направляющей (плунжером и его втулкой), см;
- $P_{\max}$ — максимальное давление топлива в полости высокого давления, кг/см²;
- $P_{\text{ост}}$ — остаточное давление топлива в трубопроводе (полости) высокого давления, кг/см²;
- P_o — давление просачившего топлива через зазоры прецизионных пар в полости форсунки, кг/см²;
- φ — продолжительность подачи топлива в градусах кулачкового вала топливного насоса;
- v_1 — скорость плунжера топливного насоса в начале впрыска, см/сек.;
- v_2 — соответственно скорость плунжера в конце впрыска, см/сек.;
- n — число оборотов кулачкового вала топливного насоса, об/мин.;
- γ — удельный вес топлива, кг/см³;
- l — длина уплотняющей поверхности иглы форсунки (плунжера), см;
- ν_{cp} — среднее значение кинематической вязкости топлива на входе и выходе из кольцевой щели прецизионной пары, см²/сек.

Как следует из уравнений (I) и (II), изменение зазора в прецизионных парах существенно сказывается на количестве топлива, протекающего вдоль плунжера и иглы распылителя, что неизбежно отражается на процессе коррозионных повреждений прецизионных деталей.

Исследования, проведенные на экспериментальном стенде и лабораторном двигателе показали, что с увеличением зазора уменьшается коррозионный износ и снижается общая площадь поверхности деталей, пораженной коррозией. При зазоре между плунжером и втулкой 10 мк, и соответственно, между иглой форсунки и ее направляющей более 6 мк признаков коррозии на сопрягающих поверхностях этих деталей не было обнаружено.

Проведенная проверка влияния увеличения зазора

между иглой и корпусом распылителя в эксплуатационных условиях на главном двигателе R6DV148 траулера СРТ-4327 (даже при наличии в топливе значительного количества воды из-за нарушения герметичности топливной цистерны) показала, что, при прочих равных условиях, увеличение зазора между иглой форсунки и ее направляющей до 6—8 мк эффективно защищает распылители форсунок от коррозионных повреждений. Это увеличение зазора (до 6—8 мк) практически не отразилось на эксплуатационных показателях работы двигателя.

Проведенная натуральная проверка увеличения зазора между плунжером и втулкой также показала, что при зазоре, увеличенном до 6—8 мк, коррозия деталей существенно замедляется.

Положительное влияние увеличения зазора между деталями на замедление коррозионных повреждений прецизионных пар можно объяснить следующим:

— уравнения (I) и (II) показывают, что утечки топлива в прецизионных элементах, при прочих равных условиях, изменяются пропорционально третьей степени величины зазора. Поэтому увеличение зазора между плунжером и его втулкой, а также между иглой форсунки и ее направляющей приводит к улучшению условий смазки этих деталей;

— с увеличением зазора увеличивается также толщина смазочного слоя, уменьшающая, соответственно, во столько же раз величину силы жидкостного трения, которая выражается, как известно, зависимостью:

$$P = \frac{\mu}{h} v \cdot F,$$

где: P — сила трения, кг;

μ — абсолютная вязкость топлива, кг.сек/м²;

v — скорость перемещения трущихся поверхностей, м/сек;

F — площадь соприкасающихся поверхностей деталей, м²;

h — толщина смазочного слоя, м;

— кроме того, можно также полагать, что с увеличением зазора увеличивается вероятность прохождения вместе с просачивающимся топливом между прецизионными деталями эмульсионных глобул (воды) без разрушения их оболочек, размер которых меньше толщины кольцевой щели.

Таким образом, увеличение зазора в прецизионных парах уменьшает смачивание водой соприкасающиеся по-

верхности, улучшает условия смазки деталей, снижает нагрузку на трущиеся поверхности, и при достаточно большом зазоре (6—10 мк) коррозия распылителей форсунок и плунжерных пар топливных насосов практически прекращается.

Применение антикоррозионной присадки

В настоящее время широко применяются ингибиторы (замедлители) для защиты металлов от коррозионных разрушений. Одним из эффективных ингибиторов для сернистой нефти и нефтепродуктов и, в частности, сернистого дизельного топлива, обводненного морской водой, является аммиак (NH_3) [6], который вполне оправдал себя и в котельных установках [7]. Аммиак применяется также для нейтрализации вредного влияния продуктов сгорания сернистых соединений, содержащихся в топливе. Однако вводится он во всасывающую систему двигателя [8] в газообразном состоянии, что усложняет применение ингибитора, так как требует специального дозирующего устройства и не может способствовать улучшению условий работы топливной аппаратуры.

Простым, экономичным и универсальным средством защиты прецизионных пар топливной аппаратуры судовых двигателей от коррозии является присадка аммиака к дизельному топливу, которую применил автор на судах Эстонского рыболовного флота. Этот метод защиты дизельной топливной аппаратуры от коррозии, насколько нам известно, нигде до сих пор не применялся.

Проведенные нами исследования на экспериментальном стенде и лабораторном двигателе показали, что добавка аммиака к сернистому дизельному топливу, обводненному до 1% морской воды, в концентрации 0,001% по весу (1 кг NH_3 на 100 т топлива) уже достаточно для предотвращения коррозии прецизионных деталей.

Аммиак в такой концентрации не влияет на тепловой процесс двигателя и, являясь щелочью, может способствовать уменьшению коррозионного износа деталей дизеля при его эксплуатации на сернистом топливе. Присадка аммиака в указанном количестве не должна вызывать коррозию медных деталей, имеющих в некоторых топливных системах, так как при работе двигателя вода, как

правило, перемещается в виде гидрофобной эмульсии при отсутствии количества воздуха, необходимого для развития коррозии меди и ее сплавов в аммиачных средах. Исключением являются топливные фильтры, имеющие латунные фильтрующие элементы, так как при вскрытии их (фильтров) для очистки и промывки создаются благоприятные условия для развития аммиачной коррозии. Поэтому, применяя ингибитор, целесообразно заменить латунные фильтрующие сетки, предусмотренные в некоторых конструкциях фильтров, элементами из других материалов (сталь, капрон, фетр и т. п.).

Аммиак вводится в топливо после бункеровки и спуска из цистерн отстойных осадков в виде насыщенного раствора NH_3 в пропиловом, изобутиловом и других спиртах или 20-процентного раствора в дистиллированной воде. Применение раствора аммиака в спиртах предпочтительнее аммиачной воды, так как благодаря хорошей растворимости спиртов в топливе и в воде обеспечивается более эффективное действие ингибитора.

Натурные испытания присадки аммиака были проведены на танкере «Александр Лейнер» и траулере СРТ-4326. На этих судах аммиак вводился в топливо в концентрации 0,001% (по весу) в виде добавки 50 грамм 20-процентного водного раствора аммиака на 1 т. топлива после буксировки и спуска отстойных осадков. Водный раствор приготавливался на береговой базе и хранился на судне в бутылки.

Эксплуатационные испытания на указанных судах показали, что добавление аммиака к дизельному топливу с содержанием 1,0% серы обеспечивает эффективное замедление коррозионных повреждений прецизионных деталей, не вызывая заметной коррозии медных деталей топливной системы. В течении испытаний (до 1500 часов) двигатели этих судов работали бесперебойно и никаких неполадок с топливной аппаратурой не было, благодаря чему за время пребывания судов на промыслах не потребовался демонтаж топливных насосов и форсунок. Визуальный осмотр прецизионных пар после испытаний, а также металлографическое исследование не показали каких-либо признаков коррозии.

Кроме того введение аммиака в топливо предохраняет внутренние поверхности цистерн, трубопроводов и других стальных деталей топливной системы от коррозии и

тем самым снижает загрязнение топлива механическими примесями, что ликвидировало частое засорение топливных фильтров, наблюдаемое обычно без присадки ингибитора.

Практическое применение присадки аммиака на промысловых судах РР-1282, СРТ-4424, -4250, -4479, -4282 и других теплоходах подтвердило эффективную защиту рабочих элементов топливной аппаратуры двигателей от коррозионных повреждений.

ВЫВОДЫ

В результате выполненных исследований можно сделать следующие основные выводы:

— Проведенные теоретическое и экспериментальное исследования позволили установить причины коррозионных повреждений прецизионных пар топливной аппаратуры судовых двигателей и разработать средства их защиты, замедляющие или целиком исключающие коррозию этих деталей.

— Причиной коррозии прецизионных деталей топливной аппаратуры двигателей морских судов является не агрессивность сернистого топлива (даже при содержании серы до 2%), а его обводнение.

— Механизм коррозионных повреждений рабочих элементов топливной аппаратуры заключается в одновременном воздействии электрохимической коррозии и трения. Коррозия обуславливается присутствием в топливе морской воды, которая нарушает сплошность смазывающей пленки и осаждается на поверхности деталей. Под образующейся при этом пленкой воды протекает процесс электрохимической коррозии. Трение деталей, механически разрушающее защитные поверхностные пленки и даже металлическую поверхность, значительно усиливает коррозионные повреждения.

— Эффективными средствами защиты рабочих элементов топливной аппаратуры морских судов от коррозии являются:

а) увеличение зазора между иглой форсунки и ее направляющей до 6 мк, а также между плунжером и его втулкой до 6—10 мк в зависимости от диаметра и конструкции;

- б) добавка аммиака к дизельному топливу;
- в) применение высокотемпературного (до 110—125°C) подогрева топлива.

— Кроме вышеуказанных методов защиты от коррозии для удлинения срока службы прецизионных деталей топливной аппаратуры рекомендуются следующие мероприятия:

- а) отделение топливных фильтров предварительной очистки от двигателя и крепление их в местах наименьшей вибрации корпуса судна;
- б) применение фильтров предварительной очистки топлива увеличенных размеров (по высоте), оборудованных смотровым стеклом и краниками для контроля и спуска отстоя;
- в) использование в качестве материала для изготовления прецизионных деталей дизельной топливной аппаратуры сталей марок Р18 или Р9 с низкотемпературным цианированием до твердости $R_c = 70—72$;
- г) охлаждение распылителя форсунки.

— Существующие сроки очистки топливных цистерн, обычно проводимые во время докования судна, при эксплуатации двигателей на сернистом дизельном топливе должны быть пересмотрены в сторону их сокращения, с целью удаления из них воды, ржавчины, нерастворимых продуктов окисления и шлама.

— Морские танкеры, транспортирующие дизельное топливо и, в частности, обслуживающие промысловые суда экспедиционного лова, должны быть оборудованы эффективной системой очистки топлива от морской воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лосиков Б. В., Пучков Н. Г., Энглин Б. А. Основы применения нефтепродуктов. Гостехиздат, 1959.
2. Шишлов Г. Н. Обеспечение работы топливной аппаратуры судовых дизелей на сернистом топливе. Бюллетень технико-экономической информации Калининградского Совнархоза, 1959, № 6.
3. Смирнов М. С. Исследование влияния сернистого топлива на топливную аппаратуру дизелей. Сборник «Физико-химические и эксплуатационные свойства сернистых котельных и дизельных топлив». ГОСИНТИ, 1958.
4. Руденко М. Г., Громова В. Н. Термическая устойчивость некоторых сернистых соединений ДАН СССР, 81, 1951, № 2, стр. 20.
5. Томашов Н. Д. Теория коррозии и защиты металлов. Из-во АН СССР, 1959.
6. Баранник В. П. Отчет Орехово-Зуевского педагогического института «Разработка ингибитора коррозии стали, вызываемой светлыми сортами нефтяного топлива и сырой Сызранской нефтью», 1957.
7. Мамет А. П., Акользин П. А. Сборник «Материалы конференции-курсов по коррозии теплосилового оборудования», Одесса, 1957.
8. Лосиков Б. В. Материалы научно-технического совещания по борьбе с коррозией деталей двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок при применении топлива с повышенным содержанием серы и ванадия в г. Ново-Куйбышевске. Тезисы докладов, 1960.
9. Соскин Г. Л. К вопросу о коррозии топливной аппаратуры судовых двигателей внутреннего сгорания. «Рыбное хозяйство», 1960, № 9.

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
11	6 сверху	уменьшается	увеличивается

листов 1,2. Тираж 600. МВ-08380.

Заказ № 1700.

Типография «Пунане Тяхт»,
ул. Пикк, 54/58, Таллин.

Цена 90 коп. (9 коп.)

Г. Л. СОСКИНД
ИССЛЕДОВАНИЕ
КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ
ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ
ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ СУДОВЫХ
ДИЗЕЛЕЙ

Таллинский Политехнический Институт

Редактор П. Мурель

Технический редактор и корректор

Я. Мыттус

Сдано в набор 21 XI 1960. Подписано
к печати 15 XII 1960. Бумага $54 \times 84 \frac{1}{16}$.
Печатных листов 1,75. По формату 60×92
печатных листов 1,43. Учетно-издательских
листов 1,2. Тираж 600. МВ-08380.

Заказ № 1700.

Типография «Пунане Тяхт»,
ул. Пикк, 54/58, Таллин.

Цена 90 коп. (9 коп.)

90 коп.

1961 — 9 коп.

