

УДК [621.431.74:656.5]:621.892

Е. П. Нецаев

## Самовосстанавливающийся режим смазки дизелей

Представлен новый способ насыщения моторного масла микроэлементами, апробированный на судах флота рыбной промышленности и в условиях длительной эксплуатации на береговых дизельных электростанциях. В статье даны результаты эксплуатационных испытаний наиболее распространенных дизелей на электростанциях типа 6ЧН 25/34 с аппаратом ТВМ, обеспечивающим трибохимический режим смазки. Во время сравнительных испытаний двух дизелей периодически отбирались пробы смазочного масла М-10В<sub>2</sub> и бесприсадочного М-10, которые подвергались спектральному анализу. В пробах определялось количество основных микроэлементов: железа (Fe), алюминия (Al), цинка (Zn), натрия (Na), бария (Ba), кальция (Ca), олова (Sn), фосфора (P), калия (K), серы (S), хлора (Cl), кремния (Si). Во время эксплуатации отчетливо проявились процессы экстракции и деструкции микроэлементов в моторных маслах дизелей, оцениваемые соответствующими коэффициентами. Анализируя полученные экспериментальные данные, следует отметить, что в обоих опытах суммарный баланс по контролируемым 15 микроэлементам сбалансировался и сблизился в пределах 1 640,5–1 650,3 г/т. При этом большая величина относится к бесприсадочному маслу. Стабилизация и улучшение физико-химических свойств моторных масел в процессе эксплуатации дизеля возможны, по нашему мнению, только в трибохимическом режиме смазки с применением аппарата трибохимического восстановления масла (ТВМ) и созданного нами гидродинамического модуля – диспергатора. Проведенные эксплуатационные испытания позволяют утверждать о возможности использования в качестве смазки бесприсадочного масла в реальных эксплуатационных условиях. При работе в трибохимическом режиме смазки дизелей установлено, что в бесприсадочном масле формируется масляная среда со спектром микроэлементов, равнозначным присадочному моторному маслу.

**Ключевые слова:** моторное масло, микроэлементы, дизель.

### Введение

Добавление присадок различного функционального назначения в моторные масла дизелей практикуется на протяжении 70 лет. В настоящее время это делается прежде всего в зависимости от содержания серы в топливе и теплонпряженности деталей цилиндро-поршневой группы в свете современной тенденции форсирования цилиндровой мощности [1].

В разных странах применяются присадки различного микроэлементного состава: в США это алюминий (Al), хром (Cr), железо (Fe), свинец (Pb), натрий (Na), барий (Ba), кальций (Ca), магний (Mg), цинк (Zn); в России – барий (Ba), кальций (Ca), магний (Mg), молибден (Mo), цинк (Zn), фосфор (P), сера (S). Основная цель введения присадок – нейтрализовать агрессивную среду, попадающую в систему смазки дизеля [2]. Тем не менее наибольший ресурс лучших моторных масел не превышает 4–5 тыс. ч.

Несмотря на то что существует большое количество сортов масел и присадок к ним, существенных сдвигов в обеспечении бессменной работы смазки со стабилизацией и улучшением физико-химических показателей в процессе эксплуатации не происходит [3]. Объем работ при моточистках и ремонтах постоянно возрастает, что особенно актуально в судовых условиях в открытом море. Все это приводит к преждевременному износу деталей и излишнему расходу самого дорогого энергоносителя – моторного масла, отрицательно сказывается на хозяйственной деятельности и экономических показателях флотов и предприятий.

Б. П. Григорьевым, заслуженным изобретателем России, разработан принципиально новый режим смазки – постоянно действующий трибохимический режим (ПДТХР), который реализован за счет установки в систему смазки аппаратов трибохимического восстановления масла (ТВМ) и нашел широкое внедрение на флоте, в железнодорожном и автомобильном транспорте страны [4].

Занимаясь исследованиями и внедрением на протяжении последних 20 лет режима ПДТХР, мы задумались над вопросом: почему, не смотря на наличие большого количества разнообразных присадок, не удается решить проблему бессменной работы моторного масла? Возможно, происходит "отравление" моторных масел, подобно химизации природы в сельском хозяйстве или засорению организма человека лекарствами (химическими препаратами)?

С учетом этой априорной информации нами была сделана попытка выяснить влияние присадок на изменение физико-химических свойств моторного масла в сравнении с бесприсадочным. Поэтому в настоящей статье поставлена цель ознакомить специалистов с экспериментальными данными, касающимися работы дизеля на мало- и бесприсадочном масле в трибохимическом режиме смазки с модулями (приставками) автора статьи к аппарату ТВМ.

## Материалы и методы

Сравнительные испытания проводились под нашим наблюдением с отбором проб моторного масла: № 1, 2, 5 из системы смазки дизель-генератора № 3 ДЭС с. Койда, а пробы № 3 и 4 также из дизель-генератора № 3 ДЭС с. Долгощелья. На обеих электростанциях установлены отечественные дизели типа 6ЧН 25/34, по общему мнению эксплуатационников – самого лучшего и наиболее распространенного на ДЭС, отработавшие на первой 12 600 ч, на второй – 35 000 ч. Физико-химические свойства проб масел определялись в химотологической лаборатории Центрального научно-исследовательского дизельного института (ЦНИДИ), а спектральный анализ этих же проб проводился в лаборатории Санкт-Петербургского университета по 15 микроэлементам.

## Результаты и обсуждение

При случайном стечении обстоятельств на дизель-электростанцию (ДЭС) СПК РК "Север" с. Долгощелья Архангельской области было завезено масло М-10 без присадок, а в соседний колхоз "Освобождение" с. Койда поступило масло М-10В<sub>2</sub>. На обеих ДЭС все дизели оборудованы аппаратами ТВМ с гидродинамическими модулями – диспергаторами, изготовленными по чертежам изобретений автора статьи [5].

На ДЭС с. Долгощелья (опыт I) наработка моторного масла с присадкой составила 2 499 ч, что на 632 ч меньше, чем в опыте II с маслом без присадки. При этом следует отметить, что во время испытаний в опыте II было зафиксировано поступление топлива в масло из-за неисправности топливной аппаратуры как отрицательный факт, отразившийся на вязкости и температуре вспышки бесприсадочного масла.

Однако при всех отмеченных недостатках реальные результаты эксплуатации заслуживают изучения и соответствующей оценки.

В табл. 1 представлены результаты анализа проб двух упомянутых опытов. Анализ данных таблицы показывает, что в масле М-10В<sub>2</sub> (проба № 1) суммарная концентрация микроэлементов в свежем масле составляет 2067,7 г/т, что в 5,12 раза выше, чем в бесприсадочном масле М-10 (проба № 3). Такое значительное превышение микроэлементов в балансе исходной пробы № 1 свежего масла является результатом дозирования присадок промышленностью в соответствии с нормами на производство товарного моторного масла.

В процессе эксплуатации, по нашему мнению, в масляной среде должен постоянно идти процесс миграции микроэлементов с учетом температурных и механических факторов, определяемых нагрузочно-скоростными режимами дизеля [6]. Основываясь на такой гипотезе, проанализируем опытные данные табл. 1. Результаты последующих параллельных проб (№ 2 масло М-10В<sub>2</sub> и М-10 без присадок) с наработками 2 499 и 3 131 ч соответственно свидетельствуют о противоположных механизмах миграции микроэлементов. В первом случае (пробы № 1 и 2) общий баланс микроэлементов 2 067,7 г/т снизился на 427,16 г/т и установился на уровне 1 640,5 г/т, в этом случае произошел процесс выброса двух дозируемых элементов, видимо, содержащихся в избытке. При этом содержание фосфора (Р) уменьшилось в 4 раза, кальция – в 1,5 раза от исходных величин пробы № 1. Одновременно с этим в присадочном масле выявлен противоположный процесс селективной экстракции, в котором участвуют все остальные контролируемые микроэлементы. В опыте I суммарная величина экстракции микроэлементов составила 410,1 г/т.

Из табл. 1 следует, что в опыте I масляная среда работала с истощением присадки, и в итоге был получен отрицательный баланс по всему микроэлементному спектру, что отразилось на физико-химических свойствах масла.

В опыте II при работе дизеля с маслом без присадки в трибохимическом режиме смазки все контролируемые 15 микроэлементов подверглись экстракции. При этом увеличение микроэлементов составило 1 246 г/т, а масляная среда за 3 131 ч работы дизеля стабилизировалась на суммарном балансе 1 650,3 г/т. Таким образом, полученный баланс по контролируемым 15 микроэлементам является достаточным и необходимым для поддержания на стабильном уровне физико-химических параметров моторного масла в дизеле.

В опыте II наиболее активно экстрагировались или мигрировали в масляную работающую среду следующие микроэлементы: барий Ва +408,9 г/т; кальций Са –0150,2 г/т; натрий Na +46,1 г/т; фосфор Р +30,0 г/т; олово Sn +6,9 г/т; калий К +3,9 г/т. Такое пополнение желательных микроэлементов положительно отразилось на физико-химических свойствах масла.

Анализируя полученные экспериментальные данные, следует отметить, что в обоих опытах суммарный баланс по контролируемым 15 микроэлементам сбалансировался и сблизился в пределах 1 640,5–1 650,3 г/т. При этом большая величина относится к бесприсадочному маслу, т. е. менее "отравленному", которое оказалось также и более жизнеспособным от исходной пробы № 3.

Таким образом, полученные рабочие балансы микроэлементов для моторных масел М-10В<sub>2</sub> и М-10Г<sub>2</sub>цс, по нашему мнению, можно считать оптимальным при эксплуатации в новом трибохимическом

режиме смазки, а также в улучшении качества моторного масла. Возможность такого явления можно проследить на примере опытов I и II по физико-химическим показателям моторного масла в табл. 1.

Таблица 1. Изменение структуры и баланса микроэлементов в спектральном анализе проб моторного масла дизелей 6CHN 25/34  
Table 1. Changes in the structure and balance of trace elements in the spectral analysis of samples of engine oil diesel 6CHN 25/34

Микроэлементная структура	Масло М-10В <sub>2</sub>		Масло М-10 (без присадок)	
	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3	Проба № 4
1. Баланс по 15 микроэлементам, г/т	2057,70	1640,54	403,88	1650,30
2. Реэкстракция микроэлементов из присадок, г/т	0,00	-427,16	0,00	отс.
3. Экстракция микроэлементов в основу масла, г/т	0,00	+410,10	0,00	+1246,10

Прежде всего, отметим следующий эксплуатационный фактор: в опыте II в систему смазки попало топливо, уменьшившее вязкость и температуру вспышки до предельных значений. Поэтому результаты по этим двум показателям несопоставимы и не подлежат сравнению. Такая аварийная ситуация дала дополнительную нагрузку на систему смазки при более длительной работе: превышение ресурса масла на 632 ч. Отметим, что в опыте I проявилась тенденция повышения вязкости и снижение температуры вспышки. В опыте II вязкость масла значительно снизилась от исходного значения на 5,59 сСт и стабилизировалась на 10,7 сСт, что соответствует паспортному значению свежего масла М-10В<sub>2</sub>. Исходная вязкость в пробе № 3 16,39 сСт не стандартна для масла М-10В<sub>2</sub>, что также не в пользу бесприсадочного масла, использованного в эксперименте.

Содержание механических примесей, характеризующее загрязненность моторного масла, ограничено величиной 4 %. Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что масло с присадками засорилось больше, чем бесприсадочное на 0,49 %. В первом случае резерв до браковочного значения составляет 1,67 %, а во втором – 2,16 %.

По показателям – содержанию воды и диспергирующей способности масла – в обоих опытах результаты различаются незначительно.

Как известно, щелочной или кислотный фон масляной среды определяется показателем pH: если величина pH = 7,0 или выше, то масло имеет желаемый щелочной фон и нейтрализует вредное воздействие кислот, попадающих в него при сгорании серы, содержащейся в топливе. При pH менее 7,0 масляная среда кислая. Как известно, щелочной или кислотный фон масляной среды определяется показателем pH: если величина pH = 7,0 или выше, то масло имеет желаемый щелочной фон и нейтрализует вредное воздействие кислот, попадающих в него при сгорании серы, содержащейся в топливе. При pH менее 7,0 масляная среда кислая, следовательно, идет процесс ухудшения свойств масла в системе. Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что присадки в пробе № 2 не смогли удержать масло в щелочной среде, а бесприсадочное масло в пробе № 4 работало в нейтральной среде, и отрицательные процессы были исключены.

Индекс вязкости (ИВ) – важнейший показатель качества моторного масла, характеризующий пластичность смазки, ее текучесть, маслянистость, испаряемость при больших температурах и обеспечивающий легкость пуска дизеля при низких температурах. В обоих опытах ИВ значительно повысился по сравнению с исходными значениями, более высокое значение относится к бесприсадочному маслу.

К наиболее информативному показателю в нашем анализе мы отнесли щелочное число (ЩЧ). В настоящее время считается, что только с помощью присадок можно повысить ЩЧ в моторном масле, чтобы исключить окислительные процессы в системе смазки, а следовательно, и коррозионные износы деталей. В научных публикациях имеются данные о том, что за 1 000–1 600 ч работы ЩЧ у моторных масел резко снижается, например, у масел М-14В<sub>2</sub> оно уменьшается в 2,4 раза, у М-14Г<sub>2</sub>цс – в 1,48 раза, а у Мобилгард-448 – в 2,17 раза [7].

В наших экспериментальных исследованиях в опыте I (масло М-10В<sub>2</sub>) также получено уменьшение ЩЧ по сравнению с исходным значением в 1,75 раза.

Следовательно, приведенные данные по показателю ЩЧ свидетельствуют, что все присадки, как отечественные, так и зарубежные, в процессе эксплуатации истощаются, но с различной скоростью в зависимости от марки масла и условий работы.

Стабилизация и улучшение физико-химических свойств моторных масел в процессе эксплуатации дизеля возможны, по нашему мнению, только в трибохимическом режиме смазки с применением аппарата ТВМ и созданного нами гидродинамического модуля – диспергатора.

Наличие механизма стабилизации и улучшения физико-химических свойств моторного масла подтверждают опытные данные, приведенные в табл. 2. За 3 131 ч работы масла без присадок щелочное

число возросло до 2,85 мг КОН/г от исходного значения 1,49 мг КОН/г. Таким образом, получено улучшение результата, чего не отмечается в процессе обычной эксплуатации всех отечественных и зарубежных моторных масел с различными присадками. Полученный положительный результат улучшения свойств бесприсадочного масла во время работы в новом трибохимическом режиме смазки, по нашему мнению, вполне закономерное явление.

Рассмотрим моторное масло как сложную среду, насыщенную микроэлементами, подобно любой жидкости природного происхождения. При этом жизнеспособность каждой среды определяется равновесием физико-химических реакций в окислительно-восстановительных процессах, особенно в рабочей среде, каковой является моторное масло. Остановимся на некоторых аспектах стойкости масляной среды в условиях эксплуатации в дизелях.

Окисление моторного масла создается в соединениях микроэлементов с кислородом, а дизель является окислительной машиной, особенно в рабочем цилиндре и подшипниках кривошипно-шатунного механизма. Основная функция современных присадок – раскисление и восстановление масляной среды в объеме масляной системы дизеля. При этом частичное улучшение свойств работающего масла компенсируется доливом свежего масла на угар. Предел такой компенсации ограничивается 4–5-кратной величиной емкости масляной системы. Например, если емкость системы смазки 0,5 т, то после долива на угар 2–2,5 т моторное масло подлежит замене из-за предельного накопления механических загрязнений (4 %). Для дизелей работающих в трибохимическом режиме смазки, такого предела нет, так как в аппарате ТВМ осуществляются дополнительные постоянно действующие окислительно-восстановительные процессы превращения загрязнений (сажи) и частиц износа из абразива в своеобразную графитированную присадку, снижающую коэффициент трения на порядок по сравнению с существующими присадками, дозируемыми в товарное моторное масло.

Химический процесс окисления и восстановления моторных масел очень сложен, поэтому все научные исследования строятся на подтверждении их лабораторным анализом проб.

Располагая необходимыми экспериментальными данными по трибохимическому режиму смазки, мы строим концепцию окислительно-восстановительного улучшения работающего моторного масла не с помощью дозируемых присадок, а наоборот – насыщением бесприсадочного масла путем экстракции микроэлементов, содержащихся в патентованных реагентах, закладываемых в аппарат ТВМ на основе сплава Na-Sn, I<sub>2</sub>, Al и других с одновременной активацией последних в специальных модулях (приставках). Механизм окисления и восстановления такой смазки состоит в следующем: все узлы трения дизеля являются самыми напряженными участками для масляной среды. С образованием масляного клина и восприятием теплоты в каждом узле в смазке начинают идти процессы окисления, при этом каждый микроэлемент спонтанно образует свой окисел, заключенный в тонкослойную пленку. Очередность образования окислов идет в строгом соответствии с термостойкостью и потенциальной активностью микроэлементов.

В результате такого явления на границах раздела фаз в парах трения идет постоянный и необходимый процесс окисления микроэлементов в масляной среде движущегося потока в циркуляционной системе смазки дизеля. Получаемые таким образом объемно-пленочные оксиды тесно взаимосвязаны между собой во всей углеводородной среде до наступления реакций восстановления в аппарате ТВМ. В нем масло восстанавливается по своим свойствам до уровня свежего исходного состояния, а иногда и выше. Образующиеся объемно-пленочные оксиды в узлах трения достаточно сильно сцепляются между собой и взаимодействуют по закону малых масс микроэлементной дисперсии. Физико-химические свойства некоторых микроэлементов, присутствующих в исследуемом моторном масле в окисной фазе, приведены в табл. 3. Эти данные наглядно характеризуют оксиды по магнитным и диамагнитным свойствам, содержанию кислорода в пленочном объеме, теплоту образования, энергию активации, молекулярную массу и плотность. Свойства каждого микроэлемента проявляются в системе смазки по-своему, с учетом их особенностей и режимных параметров работы дизеля.

Одновременно следует отметить, что объемно-оксидная пленка с микроэлементом тесно связана в углеводородной среде масла, и в контакте пар трения работает на растяжение. Силы скольжения стараются ее зацепить и растянуть. Таким образом, по-нашему мнению, образуются эффекты упругости, эластичности и пластичности масляной прослойке узлов трения. За счет этих эффектов, вероятно, и увеличивается показатель индекса вязкости в исследуемых пробах масла.

В какой-то мере упругость оксидов проявилась на данных коэффициента трения и скорости износа в зоне граничного трения, полученных на машине трения чугуно-пары в проведенном исследовании этих же проб масла. При этом скорость вращения пар трения составляла 1,5 м/с, температурный режим 70 °С и давление от 20 до 40 МПа. В результате такого опыта получены следующие данные:

- коэффициент трения  $f_{тр} = 0,05 - 0,12$ ;
- скорость износа  $J_{и} = 5 \cdot 10^{-5} - 80 \cdot 10^{-5}$ .

Таблица 2. Содержание микроэлементов в моторном масле дизеля 6ЧН 25/34 в процессе эксплуатации (опыт I)  
Table 2. Micronutrient content in diesel engine oil 6CHN 25/34 in service (experience I)

Номер пробы	Микроэлементы, %											Баланс
	Сера S	Фосфор P	Кальций Ca	Хлор Cl	Кремний Si	Калий K	Барий Ba	Натрий Na	Алюминий Al	Железо Fe	Цинк Zn	
№ 1 – работа дизеля с аппаратом ТВМ без диспергатора (1 500 ч)	6,70	0,67	67,96	15,48	1,32	0,39	6,10	0,02	0,16	0,42	0,60	100
№ 2 – работа дизеля с аппаратом ТВМ с диспергатором (1 500 ч)	2,89	0,23	51,84	38,37	1,04	0,16	3,74	0,18	0,09	1,06	0,30	100

Таблица 3. Изменение физико-химических показателей моторного масла в процессе эксплуатации дизелей 6ЧН 25/34  
Table 3. Change of physical and chemical parameters of the engine oil during the operation of diesel engines 6CHN 25/34

Номер пробы	Наработка масла, ч	Физико-химические показатели масла								
		Вязкость, сСТ	Температура вспышки, °С	Нерастворимые осадки, %	Кислотное число, мг КОН/г	Щелочное число, мг КОН/г	Содержание воды, %	Диспергирующая способность	Показатель рН, ед.	Индекс вязкости, ед.
Опыт I, моторное масло М-10В <sub>2</sub>										
Проба № 1	0	11,17	205	Не реглам.	Не реглам.	6,27	Отс.	Не реглам.	8,9	100,9
Проба № 2	2 499	13,60	186	2,33	1,33	3,58	Отс.	0,72	6,9	179,0
Изменение показателей		+1,9	-19	+1,67*	+1,33	-2,69	-	+0,42*	-2,0	+15,2
Опыт II, моторное масло М-10 (без присадок)										
Проба № 3	0	16,39	217	Не реглам.	0,32	1,49	Отс.	Не реглам.	7,8	98,9
Проба № 4	3 131	10,70**	170	1,84	1,69	2,85	Следы	0,72	7,0	115,8
Изменение показателей		-5,59	-47	+2,16*	+1,37	+1,36	-	+0,42*	-08	+16,9

Примечание: \* значение от уровня браковочного показателя по ОСТ 15.129–86 (предельные значения: нерастворимые осадки – 4 %, диспергирующая способность – 0,3 усл. ед.); \*\* в пробе № 4 обнаружено разжижение масла топливом.

Большие значения показателей трения относятся к свежему маслу М-10В<sub>2</sub> до обработки в аппарате ТВМ. Во время испытаний образцов в машине трения в зоне граничного трения не обнаружено заеданий и задиров, несмотря на то что нагрузка превышала эксплуатационную в несколько раз. Этот результат свидетельствует о том, что обрабатываемое масло в аппарате ТВМ обладает хорошей упругостью в зоне граничного трения и антифрикционными свойствами.

Качественную оценку механизма экстракции микроэлементов в системах смазки дизелей и механизма деструкции (выброса) присадки можно провести по следующим уравнениям:

– коэффициент экстракции микроэлементов в опыте I ( $K'_3$ )

$$K'_3 = \frac{\sum_1^n (MЭ)'_3}{\sum_1^n (MЭ)'_{p6}} = \frac{410,1}{1\,640,54} = 0,25; \quad (1)$$

– коэффициент экстракции микроэлементов в опыте II ( $K''_3$ )

$$K''_3 = \frac{\sum_1^n (MЭ)''_3}{\sum_1^n (MЭ)''_{p6}} = \frac{1\,246}{1\,650} = 0,76; \quad (2)$$

– коэффициент деструкции микроэлементов из присадки ( $K'_d$ )

$$K'_d = \frac{\sum_1^n (MЭ)'_d}{\sum_1^n (MЭ)'_{p6}} = \frac{427,16}{1\,640,54} = 0,26. \quad (3)$$

Полученные данные свидетельствуют, что механизм экстракции микроэлементов в бесприсадочном масле (2) проходит в 3 раза интенсивнее, чем в масле с присадками (1). Деструкция присадок в системе смазки дизеля явление нежелательное, но поскольку оно имелось в опыте I, его также следует рассчитывать и учитывать при оценке качества моторного масла. В опыте I для присадочного масла коэффициенты экстракции и деструкции близки по величине. В опыте II такого явления противоборства процессов не выявлено, поэтому и получен лучший эффект по изменению физико-химических параметров. В спектре микроэлементов, по-нашему мнению, наиболее информативным является калий (К). Он не входит в состав дозируемых присадок и тесно взаимосвязан с показателем индекса вязкости: большому значению индекса вязкости соответствует большее содержание калия в масле. Известно, что калий активно взаимодействует с графитом. В моторном масле он присутствует в виде сажи, а количественное содержание доходит до 4 %. Моющее действие реагентов в аппарате ТВМ смывает сажу с рабочих поверхностей деталей. Диспергатор дробит глобулы сажи, а при дальнейшем взаимодействии с микроэлементами железа, никеля, хрома, цинка, меди, алюминия и другими в кассетах аппарата в присутствии катализатора образуются соединения, улучшающие свойства масла, снижая коэффициент трения и увеличивая термостойкость. Окислительно-восстановительные процессы, по-нашему мнению, осуществляет молекулярно-микробная среда (субстрат), постоянно присутствующий в масляной среде в трибохимическом режиме смазки. Катализирующим и связующим звеном этой среды являются микроэлементы, о миграции которых было сказано выше. По данным научной литературы, субстанция хорошо работает при температуре 60–100 °С. Активность окислительно-восстановительных процессов во многом зависит от качества работы аппарата ТВМ и его реагентов, а также от колебания показателя рН масляной среды, играющей роль буфера в осуществляемых физико-химических процессах [3].

### Заключение

Таким образом, проведенные эксплуатационные испытания работы дизеля 6ЧН 25/34 в трибохимическом режиме смазки с бесприсадочным М-10 и моторным маслом М-10В<sub>2</sub> на ДЭС СПК РК "Север" и "Освобождение" в Архангельской области позволяют сделать следующие выводы:

1. Трибохимический режим смазки дизелей в аппарате ТВМ с модулями (приставками) позволяет использовать в реальных эксплуатационных условиях в качестве смазки бесприсадочное масло.
2. При работе в трибохимическом режиме смазки дизелей установлено, что в бесприсадочном масле формируются свои присадки со спектром микроэлементов, равнозначным присадочному моторному маслу.
3. В стандартном моторном масле в процессе эксплуатации одновременно действуют два механизма: первый отторгает излишне дозированные микроэлементы присадок до необходимого рабочего уровня,

второй экстрагирует (пополняет) масляную среду требуемыми микроэлементами в необходимом количестве до рабочего уровня, действуя в направлении, противоположном первому. В бесприсадочном масле действует только второй механизм, в результате получается качественная смазка и значительно сокращаются расходы эксплуатационников на приобретение горюче-смазочных материалов.

#### Библиографический список

1. Гаркунов Д. М. Триботехника. М. : Машиностроение, 1985. 424 с.
2. Заславский Ю. С. Трибология смазочных материалов. М. : Химия, 1991. 240 с.
3. Нецаев Е. П. Диагностика по продуктам износа и эксплуатационное легирование дизелей / Рыб. хоз-во. Сер. Актуальные науч.-техн. пробл. отрасли : обзор. информ. / ВНИЭРХ. М., 1999. Вып. 2. 40 с.
4. Григорьев Б. П., Глебовский Д. Н. Способ создания постоянно действующего трибохимического режима в смазочных системах механизмов : сб. науч. тр. ин-та машиностроения им. А. А. Благонравова / АН СССР. М., 1990. 144 с.
5. Нецаев Е. П. Микроэлементный баланс и качество смазки дизеля // Наука и техника на речном транспорте : информ. сб. М., 1995. Вып. 10. С. 2–9.
6. Погодаев Л. И., Кузьмин В. Н., Дудко П. П. Повышение надежности трибосопряжений : Материалы. Пары трения ДВС. Смазочные композиции. СПб. : Академия транспорта Рос. Федерации, 2001. 304 с.
7. Григорьев М. А. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания. М. : Машиностроение. 1983. 148 с.

#### References

1. Garkunov D. M. Tribotekhnika [Tribotechnics]. M. : Mashinostroenie, 1985. 424 p.
2. Zaslavskiy Yu. S. Tribologiya smazochnyh materialov [Tribology of lubricants]. M. : Himiya, 1991. 240 p.
3. Nechaev E. P. Diagnostika po produktam iznosa i ekspluatatsionnoe legirovanie dizeley [Diagnosis of product run-out and maintenance alloying of diesels] / Ryb. hoz-vo. Ser. Aktualnye nauch.-tehn. probl. otrasli : obzor. inform. / VNIERH. M., 1999. Vyp. 2. 40 p.
4. Grigor'ev B. P., Glebovskiy D. N. Sposob sozdaniya postoyanno deystvuyushchego tribohimicheskogo rezhima v smazochnyh sistemah mehanizmov [The process of creating permanent tribochemical regime in lubricating systems of mechanisms] : sb. nauch. tr. in-ta mashinostroeniya im. A. A. Blagonravova / AN SSSR. M., 1990. 144 p.
5. Nechaev E. P. Mikroelementnyi balans i kachestvo smazki dizelya [Microelement balance and quality of diesel engine lubricant] // Nauka i tekhnika na rechnom transporte : inform. sb. M., 1995. Vyp. 10. P. 2–9.
6. Pogodaev L. I., Kuzmin V. N., Dudko P. P. Povyshenie nadezhnosti tribosopryazheniy [Improvement of reliability of tribological joints] : Materialy. Pary treniya DVS. Smazochnye kompozitsii. SPb. : Akademiya transporta Ros. Federatsii, 2001. 304 p.
7. Grigorev M. A. Ochistka masla v dvigatelyah vnutrennego sgoraniya [Oil cleanup in internal combustion engines]. M. : Mashinostroenie. 1983. 148 p.

#### Сведения об авторе

**Нецаев Евгений Павлович** – ул. Гагарина, 21, г. Мурманск, Россия, 183031; Университет морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова, Мурманский филиал, канд. техн. наук;  
e-mail: EPNechaev@inbox.ru

**Nechaev E. P.** – 21, Gagarina Str., Murmansk, Russia, 183031; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Murmansk Branch, Cand. of Tech. Sci.; e-mail: EPNechaev@inbox.ru

E. P. Nechaev

## **Resettable regime of diesel lubrication**

A new method of engine oil saturation by microelements has been presented in the paper; it has been tested on vessels of the fishing fleet and in conditions of prolonged operation in the coastal diesel-engine power plants. The paper considers the results of performance tests of the most common diesel power plants of 6ЧН 25/34 type with the tribochemical reductant oil (TRO) apparatus providing tribochemical lubrication. During comparative trials of two diesels the samples of lubricating oil m-10B<sub>2</sub> and m-10 have been periodically collected and subjected to spectral analysis. In the samples the number of the following key microelements has been determined: iron (Fe), aluminum (Al), zinc (Zn), sodium (Na), barium (Ba), calcium (Ca), tin (Sn), phosphorus (P), potassium (K), sulfur (S), chlorine (Cl), silicon (Si). During the operation the processes of microelements' extraction and destruction in diesel motor oils evaluated by the relevant coefficients have been clearly manifested. Analyzing the obtained experimental data it should be noted that in both experiments the total balance of the controlled 15 trace elements has been balanced and approached within 1640.5–1650.3 g/t. And the greater measure refers to conventional oil. Stabilization and improvement of physical and chemical properties of motor oil in operation of a diesel engine is possible from the authors' viewpoint only in the tribochemical lubrication mode using the TRO apparatus and created hydrodynamic module – dispersant. The past performance tests suggest the possibility of use as a lubricant the conventional (pure) oil under actual operating conditions. When in the tribochemical mode of diesel engine lubrication it has been established that in conventional (pure) oil the oily medium has been formed with a spectrum of microelements equivalent to engine oil filler.

**Key words:** motor oil, trace elements, diesel.