Судовые энергетические установки

Научная статья
УДК 67.014
http://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-4/85-95

Е.В. Мазур, П.С. Щербань, В.С. Мазур

МАЗУР ЕКАТЕРИНА ВЛАДИМИРОВНА – ассистент, преподаватель, EVMazur@kantiana.ru
ЩЕРБАНЬ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ – к.т.н., доцент, ursa-maior@yandex.ru
Высшая школа междисциплинарных исследований и инжиниринга
МАЗУР ВАЛЕРИЯ СЕРГЕЕВНА – аспирант, vmazur@kantiana.ru
Высшая школа компьютерных наук и прикладной математики
ОНК «Институт высоких технологий»
Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта
Калининград, Россия

Исследование рабочих характеристик моторного масла судового двигателя с применением матрицы параметров процесса

Аннотация. В настоящем исследовании разработан метод, позволяющий увеличить срок службы механизмов и повысить надежность судового оборудования в условиях эксплуатации. Эффект достигается путем обнаружения наиболее весомых и влиятельных параметров используемого моторного масла, установления по каждому из них граничных значений и определения степени отклонения фактических показателей параметра от граничных. Обработка массива физико-химических данных по маслам с учетом наработки оборудования на отказ осуществляется компьютерной программой, разрабатываемой для мониторинга состояния судового двигателя в режиме эксплуатации. Проектируемый программный комплекс позволяет осуществлять более точное и своевременное техническое обслуживание судовой энергетической установки.
Ключевые слова: матрица параметров процесса, моторное масло, судовой двигатель, износ подшипников, анализы масел

Для цитирования: Мазур Е.В., Щербань П.С., Мазур В.С. Исследование рабочих характеристик моторного масла судового двигателя с применением матрицы параметров процесса // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2022. № 4(53). С. 85–95.

Введение

Процесс деградации работающих технических систем и их элементов непрерывен и неизбежен, что обусловлено, в частности, термодинамическими законами. Вместе с тем замедлить износ можно, оказывая системное воздействие на составляющие процесса, разрушающие механизмы. Анализ данных факторов может стать основой для выбора действий по корректировке процесса технического обслуживания двигателя, в процессе принятии решений по предупреждающим мерам, проектировании конструкций и в целом при оценке надежности оборудования. Эти положения распространяются и на моторные масла, используемые в судовых двигателях. Так, предлагаемый производителями временной интервал по замене моторного масла несет рекомендательный характер, основанный на статистических данных общего масштаба и проведенных в лабораторных условиях испытаниях. В то же время реально существующий остаточный ресурс масла может в значительной мере скорректировать время и средства, затрачиваемые службой старшего механика на техническое обслуживание системы

© Мазур Е.В., Щербань П.С., Мазур В.С., 2022
Статья поступила: 25.10.2022; рецензирование: 17.11.2022.

В системе «двигатель–масло» особый интерес представляют любые изменения в характеристиках взаимосвязанных элементов, а также в случайных процессах, протекающих в них и между ними [10, 18]. Качество используемого масла непостоянно и, как следствие, изменяется и значение временного фактора относительно показателей надежности двигателя. Уровень деградации масла в системе выражается «выпадением» за границы нормы рабочих параметров, описывающих характеристики смазочного материала (рис. 1).

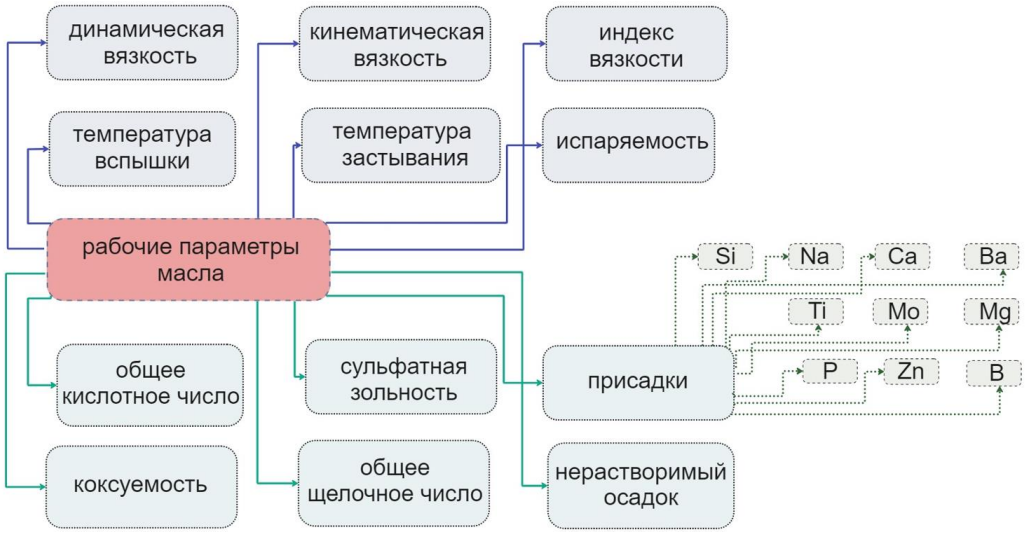


Рис. 1. Основные параметры моторных масел

В процессе оценки тех или иных параметров необходимо понимать функции, которые выполняет каждая из представленных характеристик, а также уровни допустимости каждого значения [11, 13, 14]. При работе в высоких температурных диапазонах и при высоких интервальных нагрузках скорость окисления масла увеличивается, что приводит к образованию твердых абразивных частиц, контакт которых с элементами системы двигателя приводит к появлению частиц износа. Из этого следует, что уровень загрязняющих масло элементов и вязкость - основные показатели качества смазывающего материала.

Техническая диагностика –основное мероприятие, направленное на обнаружение информации о состоянии механизмов, машин, узлов, элементов и механической системы в целом. Методы, предложенные для получения и обработки данных, основанные на применении математического аппарата, способствуют составлению алгоритмов принятия решений [1]. Надежность в ходе эксплуатации двигателей морских судов должна быть обеспечена оперативностью и квалифицированностью действий по техническому обслуживанию, в то время как тип и частота действий по обеспечению работоспособности механизмов напрямую зависят от знаний технического состояния элементов эксплуатируемых механизмов [19]. Принятие соответствующего решения – вопрос сложный и, как правило, представляет собой сочетание прошлого опыта, метода экспертных оценок и своевременной диагностики, основанной на результатах анализа физико-химических параметров масла [8, 16].

Анализ матрицы параметров процесса (МПП) [12], основанный на системной обработке данных физико-химических показателей масла, позволит поддержать принятие решения по техническому обслуживанию судового двигателя и тем самым повысить надежность при эксплуатации технической системы.

Материалы и методы

Формированием четкого понимания технического состояния системы «двигатель–масло» могут служить результаты анализов и точное прогнозирование, основанное на поверочных расчетах [9, 17]. Создание современных способов и схем решения вопроса надежности строится на разработке и внедрении интеллектуальных программ, учитывающих накопленный

опыт и индивидуальный подход к технической структуре [15]. Простота разработки программного продукта на языке Python и возможность дополнять и совершенствовать библиотеку программы предоставляют возможность создания баз данных причин и последствий отказов.

Разрабатываемая интеллектуальная программа для оценки состояния системы «двигатель–масло» позволяет анализировать введённые статистические данные по физико-химическому составу работающего масла, сравнивать их со значениями контролируемых параметров, с их граничными показателями, что дает возможность в дальнейшем получить информацию о причинах возникновения и развития неисправностей (рис. 2).

При обработке анализов методом МПП в данной работе были использованы результаты лабораторных исследований масла эксплуатируемого судового дизельного двигателя. Данные были обработаны программным комплексом с помощью языка программирования Python.

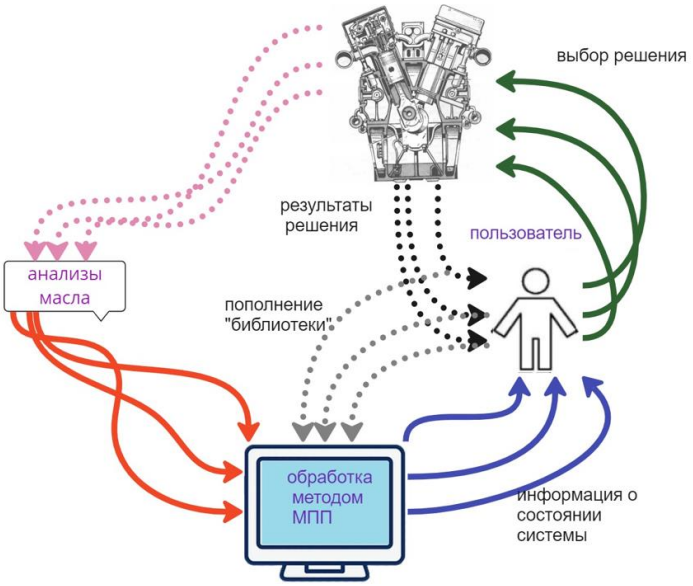


Рис. 2. Концепция работы эргатической системы с применением программного обеспечения, основанного на методе МПП

Ключевым элементом создаваемой эргатической системы является новый программный комплекс, использующий метод матрицы анализа процессов. На первом этапе составления матрицы необходимо сформировать перечень параметров, необходимых для определения масштаба процесса деградации, происходящего в системе. В данном примере были реализованы все параметры анализируемого материала согласно отчетам лабораторных исследований моторных масел судового дизельного двигателя MAN B&W Diesel Den 6L28/32A. Апробация метода проводилась на одном из видов масла, использованного в период наработки двигателя с 7121 по 22460 часов.

Этапы составления МПП

При составлении матрицы необходима нормировка количественных значений, то есть приведение к безразмерному числовому значению каждого параметра (Эij) по шкале от 0 до 10. Это связано с тем, что параметры имеют различные единицы измерения. Перед переводом в кодированные значения устанавливаются предельные значения изменения факторов, то есть границы варьирования: $Р_{вк}$ – верхняя контрольная граница, $Р_{нк}$ – нижняя контрольная граница. Чаще всего данные по предельным значениям можно получить из справочной литературы или у производителя смазочного материала.

В Российской Федерации нормативные документы, регламентирующие эксплуатацию судовых технических средств, содержат требования и рекомендации, в том числе к предельным значениям работающих моторных масел [6, 7]. Согласно требованиям системы морского транспорта и закона нормального распределения с учетом физико-химических особенностей

анализируемого параметра приведен пример определения зон продуктивности элементов исследуемой системы (рис. 3). Щелочное число имеет рабочий диапазон с наилучшей производительностью – «зеленая зона», и продуктивность идет на спад по мере приближения к границам верхнего или нижнего допустимых пределов (рис. 3 а). Элементы металлических примесей, например железа, как правило, по физическому смыслу имеют только один допустимый предел, то есть «зеленая зона» будет ограничена односторонним допуском (рис. 3 б).

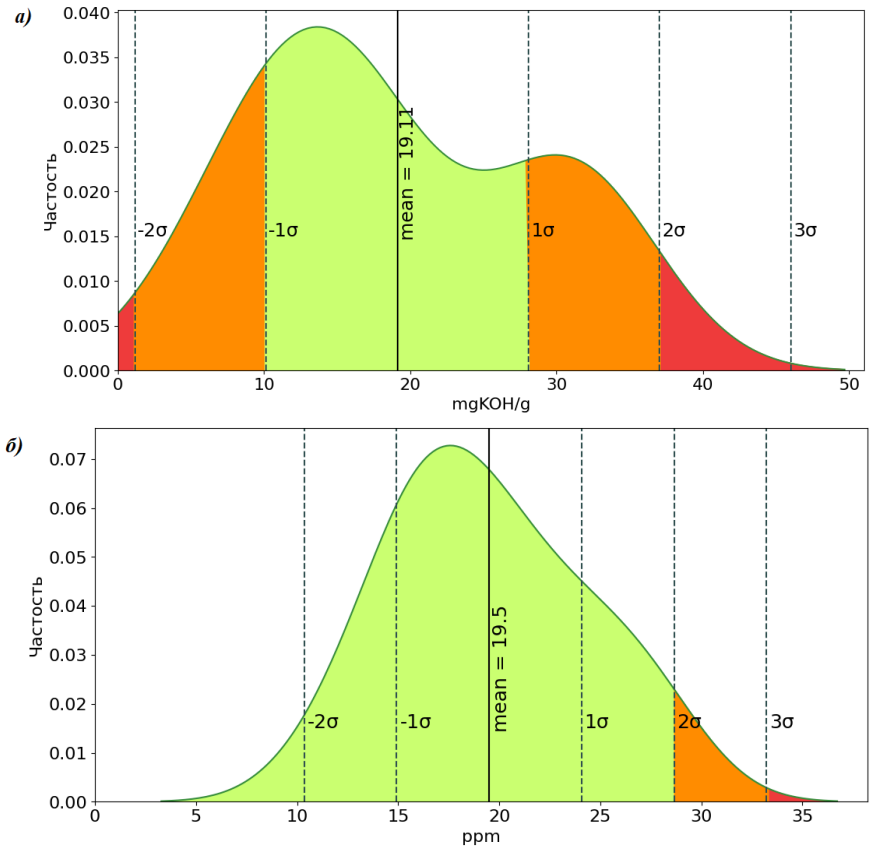


Рис. 3. Кривые нормального распределения, построенные на основе статистических данных анализов масла: а) BN, mgKOH/g; б) Fe, ppm

Параметры, имеющие условно один допустимый предел, это те параметры, значения которых в наиболее низкой или наиболее высокой точке своей концентрации, более предпочтительны. При переводе к кодированным значениям элементов, фактические показатели которых имеют один приемлемый предел, предпочтение отдается присутствию этого элемента у низшей контрольной границы ($Р_{нк}$). В таком случае используется выражение (1):

$$Э_{ij} = 10 * \frac{P_д - Р_{вк}}{Р_{нк} - Р_{вк}}, \quad (1)$$

где $Э_{ij}$ – нормированный элемент матрицы, $Р_д$ – фактическое значение параметра.

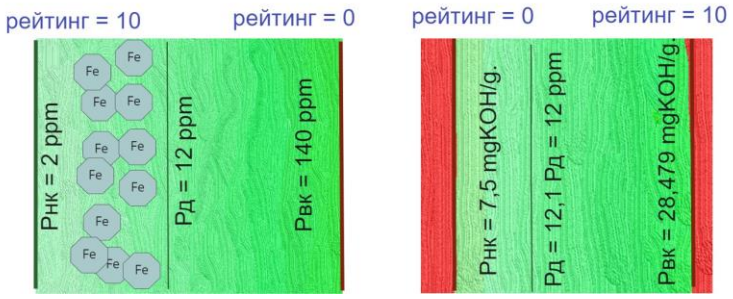
Для параметров, у которых более предпочтительны значения, приближающиеся к высшей контрольной границе, наивысший бал соответственно присваивается показателям, приближающимся к верхней контрольной границе. В этом случае используется выражение (2):

$$Э_{ij} = 10 * \frac{P_д - Р_{нк}}{Р_{вк} - Р_{нк}}. \quad (2)$$

На рис. 4 представлено определение фактических значений параметров смазочного материала относительно верхней и нижней контрольных границ с формированием рейтинговых оценок. Так, из рис. 4 а следует, что среднее значение массовой доли содержания железа, согласно нашим расчетам, равняется 12 ppm, заявленные производителем граничные значения –

2–140 ppm, и при определении рейтинга наивысший балл присваивается границе с наименьшим значением.

Рисунок (4 б), в свою очередь, показывает критерий BN (щелочное число), где норма, заявленная производителем, определена как BN > 7,5, что говорит о том, что точка начала «зеленой зоны» будет определена указанным числовым выражением. Согласно обработке статистических данных, верхняя контрольная граница щелочного числа будет равняться 28,479 mgKOH/g.



а) б)

Рис. 4. Установление предельных и среднего значений: а) Fe, ppm; б) BN, mgKOH/g

После перевода всех параметров смазочного материала в кодированные значения составляется матрица. Строками матрицы приняты нормированные физико-химические параметры. Таким образом, согласно результатам лабораторных исследований каждое из кодированных значений составляет тело матрицы, столбцами же обозначено время наработки в часах (3).

$$\begin{array}{c|cccccccc} & T_1 & T_2 & \dots & \dots & T_j & \dots & T_m \\ \hline \Pi_1 & Э_{11} & Э_{12} & \vdots & \dots & Э_{1j} & \dots & Э_{1m} \\ \Pi_2 & Э_{21} & Э_{22} & \vdots & \vdots & Э_{2j} & \vdots & Э_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots \\ \Pi_i & Э_{i1} & Э_{i2} & \dots & \vdots & Э_{ij} & \vdots & Э_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Pi_n & Э_{n1} & Э_{n2} & \dots & \dots & Э_{nj} & \dots & Э_{nm} \end{array}, \quad (3)$$

Анализируя работоспособность масла при помощи данной матрицы, нужно оценить, как тот или иной элемент ведет себя в течение различных интервалов времени. Для этого построчно следует установить среднее значение и среднее квадратичное отклонение каждого исследуемого параметра в кодированных значениях. Низкое среднеквадратичное отклонение и среднее значение исследуемого параметра, в кодированных единицах близкое к 10, демонстрирует хорошо отлаженную систему, в то время как высокое стандартное отклонение показывает высокую изменчивость в ряду определенного элемента.

Общую эффективность каждой переменной в системе можно оценить, определив среднее значение, среднеквадратичное отклонение и вычислив индекс эффективности параметра. При вычислении только среднего значения истинное положение в структуре может быть искажено из-за преобладания слишком высоких значений над слишком низкими, поэтому целесообразно обратное суммирование значений по каждому параметру наблюдений.

Индекс эффективности каждого из параметров (ИЭФ) определяем следующим образом:

$$ИЭФ_i = F_i \cdot m, \qquad i = 1,2 \dots . . n, \quad (4)$$

где

$$\frac{1}{F} = \sum_{j=1}^{n} \frac{1}{M_{ij}}, \quad (5)$$

M_{ij} – точка данных в профиле матрицы, m – строки, n – столбцы. В случае приближения числового значения точки данных профиля к нулю наблюдается картина уязвимости исследуемого параметра и, соответственно, индекс эффективности также будет приближаться к нулю.

Результаты исследования

Составление и оценка МПП проведены на основании результатов лабораторных исследований моторного масла за 15 339 часов наработки в режиме эксплуатации судового дизельного двигателя. Контрольных границ элементов были заявлены производителем. Расчеты среднего и среднеквадратичного отклонения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Среднее и среднеквадратичное отклонения элементов масла

Параметр	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение
Вязкость кинематическая при 100 ^{0}C	14,50	0,41
Температура вспышки (SETA)	190,00	0,00
Щелочное число (мг КОН/г)	19,11	9,37
Содержание нерастворимого осадка (объем, %)	0,29	0,26
Вода (объем, %)	0,11	0,07
Al (Алюминий)	5,50	1,78
Cr (Хром)	0,42	0,67
Cu (Медь)	0,25	0,45
Fe (Железо)	19,50	4,78
Ni (Никель)	39,50	14,31
Pb (Свинец)	0,42	0,67
Sn (Олово)	0,83	1,27
Na (Натрий)	33,78	8,12
Si (Кремний)	14,00	3,36
V (Ванадий)	119,75	36,35
Sb (Сурьма)	0,50	0,85

Перевод в кодированные значения выполнялся согласно требованию с использованием формул (1) и (2), после чего была составлена матрица параметров процесса с кодированными значениями (табл. 2).

Таблица 2

Матрица параметров процесса с кодированными значениями

Параметры	Время работы оборудования												ИЭФ
	7121	8392	9662	10930	12198	13480	13655	14890	16373	17490	19560	22460	
Al (Алюминий)	9,50	9,25	8,50	8,50	8,50	8,25	8,25	8,00	8,25	8,75	9,00	8,75	8,60
Cr (Хром)	10,00	10,00	9,75	9,50	10,00	9,75	9,75	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,89
Cu (Медь)	10,00	10,00	9,94	9,94	10,00	10,00	9,94	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,98
Fe (Железо)	9,14	8,86	8,57	8,00	8,79	8,43	8,14	8,29	8,71	8,93	8,86	8,57	8,59
Ni (Никель)	4,75	1,75	-0,50	-2,25	2,25	-2,75	-6,00	-4,00	1,75	6,00	2,00	-1,50	-8,41
Pb (Свинец)	10,00	10,00	10,00	9,94	9,94	10,00	10,00	10,00	9,94	10,00	10,00	9,88	9,97
Sn (Олово)	9,50	10,00	9,75	9,00	9,50	10,00	10,00	10,00	10,00	9,75	10,00	10,00	9,78
Na (Натрий)				4,86	6,57	5,57	5,14	4,00	5,29	6,71	5,43	3,00	4,90
Si (Кремний)	8,20	8,00	7,40	7,00	7,00	6,80	6,60	6,80	6,20	6,60	7,60	8,20	7,14
V (Ванадий)	-2,00	-9,00	-17,00	-20,80	-8,60	-19,60	-25,40	-22,60	-9,40	-7,60	-9,00	-16,40	-8,70
Вязкость кинематическая при 100 °C	6,02	6,24	6,27	6,39	6,02	6,02	6,63	6,51	5,90	6,02	6,99	7,59	6,35
Щелочное число (мгКОН/г)	2,19	2,15	0,24	-0,05	4,39	5,20	3,29	4,24	10,39	11,96	11,58	10,82	-0,83
Вода (объем%)	7,80	7,60	7,60	7,00	9,20	4,40	9,00	6,60	9,00	8,00	8,00	8,60	7,45
Температура вспышки (SETA)	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67
Содержание нерастворимого осадка (объем %)	8,20	7,60	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	8,67	9,33	6,33	5,67	4,47	7,64

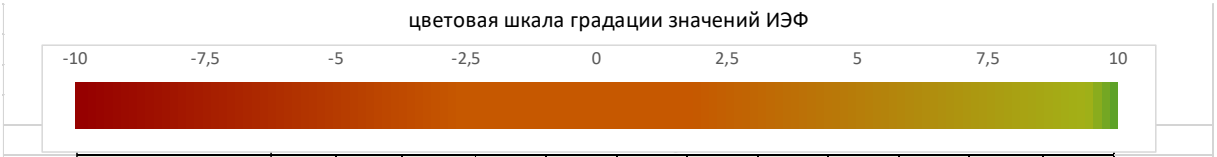
Как видно из табл. 2, кодированные значения по некоторым элементам ниже нуля, что в краткосрочном прогнозе указывает на серьезные отклонения в работе системы, а в долгосрочном, после определения индекса эффективности параметров за временной промежуток, – на то, что в план ремонта СЭУ есть необходимость включить мероприятия по установлению причины дестабилизации работы системы.

Применение МПП в разработке компьютерной программы анализа работы системы «масло–двигатель»

Метод МПП дает еще одну возможность определения уровня работоспособности масляной системы судового двигателя с применением максимально доступных для обслуживающего персонала средств. Разработка на основе метода МПП специализированного программного обеспечения является нетривиальной задачей, поскольку требует совмещения различных программно-аппаратных комплексов, способных оценивать техническое состояние судовых механизмов. Требование Международного кодекса по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращению загрязнений (МКУБ) предусматривает, что «компания должна определить оборудование и технические системы, внезапный отказ которых может создавать опасные ситуации» [3, с. 11]. Поэтому наличие дополнительного источника аналитических данных о работе двигателя может послужить вспомогательным средством при выработке решения о сроках и видах работ по техническому обслуживанию и ремонту силовой установки [2].

Таблица 3

Пример графического отображения результатов анализа методом МПП



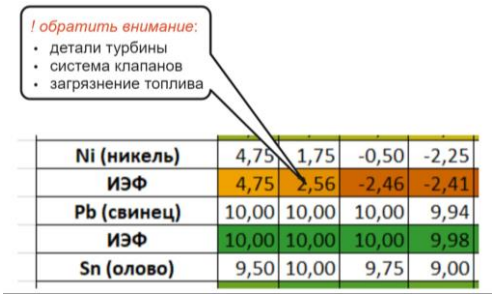
Время работы оборудования	7121	8392	9662	10930	12198	13480	13655	14890	16373	17490	19560	22460
Al (Алюминий)	9,50	9,25	8,50	8,50	8,50	8,25	8,25	8,00	8,25	8,75	9,00	8,75
ИЭФ	9,50	9,37	9,06	8,92	8,83	8,73	8,66	8,57	8,53	8,55	8,59	8,60
Cr (Хром)	10,00	10,00	9,75	9,50	10,00	9,75	9,75	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
ИЭФ	10,00	10,00	9,92	9,81	9,85	9,83	9,82	9,84	9,86	9,87	9,88	9,89
Cu (Медь)	10,00	10,00	9,94	9,94	10,00	10,00	9,94	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
ИЭФ	10,00	10,00	9,98	9,97	9,97	9,98	9,97	9,98	9,98	9,98	9,98	9,98
Fe (Железо)	9,14	8,86	8,57	8,00	8,79	8,43	8,14	8,29	8,71	8,93	8,86	8,57
ИЭФ	9,14	9,00	8,85	8,62	8,65	8,62	8,54	8,51	8,53	8,57	8,60	8,59
Ni (Никель)	4,75	1,75	-0,50	-2,25	2,25	-2,75	-6,00	-4,00	1,75	6,00	2,00	-1,50
ИЭФ	4,75	2,56	-2,46	-2,41	-4,10	-3,79	-4,00	-4,00	-6,31	-7,93	-14,47	-8,41
Pb (Свинец)	10,00	10,00	10,00	9,94	9,94	10,00	10,00	10,00	9,94	10,00	10,00	9,88
ИЭФ	10,00	10,00	10,00	9,98	9,97	9,98	9,98	9,98	9,98	9,98	9,98	9,97
Sn (Олово)	9,50	10,00	9,75	9,00	9,50	10,00	10,00	10,00	10,00	9,75	10,00	10,00
ИЭФ	9,50	9,74	9,75	9,55	9,54	9,61	9,67	9,71	9,74	9,74	9,76	9,78
Na (Натрий)				4,86	6,57	5,57	5,14	4,00	5,29	6,71	5,43	3,00
ИЭФ				4,86	2,79	5,58	5,46	5,09	5,12	5,30	5,32	4,90
Si (Кремний)	8,20	8,00	7,40	7,00	7,00	6,80	6,60	6,80	6,20	6,60	7,60	8,20
ИЭФ	8,20	8,10	7,85	7,62	7,49	7,36	7,24	7,18	7,06	7,01	7,06	7,14
V (Ванадий)	-2,00	-9,00	-17,00	-20,80	-8,60	-19,60	-25,40	-22,60	-9,40	-7,60	-9,00	-16,40
ИЭФ	-2,00	-3,27	-4,48	-5,57	-5,99	-6,78	-7,57	-8,26	-8,37	-8,29	-8,35	-8,70
Вязкость кинематическая при 100^0C	6,02	6,24	6,27	6,39	6,02	6,02	6,63	6,51	5,90	6,02	6,99	7,59
ИЭФ	6,02	6,13	6,17	6,23	6,18	6,16	6,22	6,25	6,21	6,19	6,26	6,35
Щелочное число (мгKOH/г)	2,19	2,15	0,24	-0,05	4,39	5,20	3,29	4,24	10,39	11,96	11,58	10,82
ИЭФ	2,19	2,17	0,59	-0,25	-0,32	-0,39	-0,46	-0,54	-0,61	-0,68	-0,75	-0,83
Вода (объем%)	7,80	7,60	7,60	7,00	9,20	4,40	9,00	6,60	9,00	8,00	8,00	8,60
ИЭФ	7,80	7,70	7,67	7,49	7,78	6,90	7,13	7,06	7,24	7,30	7,36	7,45
Температура вспышки (SETA)	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67
ИЭФ	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67
Содержание нерастворимого осадка (объем %)	8,20	7,60	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	8,67	9,33	6,33	5,67	4,47
ИЭФ	8,20	7,89	8,32	8,55	8,70	8,80	8,87	8,84	8,90	8,55	8,17	7,64

Для эффективной визуальной категоризации технического состояния масляной системы при использовании метода МПП, вывод данных для пользователя предлагается в виде цветовых значений (табл. 3). После определения ИЭФ для визуального восприятия данные окрашиваются от темно-красного, где показатели индекса переходят в минусовые значения, до светло-зеленого, означающего эффективную работу системы по рассматриваемому параметру. Такой подход к оценке масляной системы позволяет не только отследить, как стабильно она работает на момент анализа, но и обнаружить, в какой момент произошел сбой и какое влияние оказывают меры, принимаемые для устранения причин сбоя, будь то замена узлов и деталей или смена смазки.

Обсуждение результатов

Естественное изнашивание механизмов СЭУ под нагрузкой – существенный, но не единственный источник отказов в работе. Причинами выхода из строя узлов и деталей судового двигателя могут быть: индивидуальные конструкторские особенности энергетической установки; некачественные материалы деталей узлов, а также просчеты при их монтаже; эксплуатация двигателя в режиме перегрузки; использование масел и топлива несоответствующих характеристик [4]. Отражением той или иной проблемы служат в том числе и регулярные проверки состояния состава масла, осуществляемые посредством контроля измеряемых параметров и объема долей металлических включений. Многие суда, кроме всевозможных датчиков и регламентированных средств контроля технических систем, имеют программное обеспечение, помогающее управлять техническим обслуживанием и планированием работ по осмотрам и ремонтам, в том числе СЭУ. Программа, основанная на методе МПП, может стать дополнением к интеллектуальным программам или может быть установлена как самостоятельное средство сбора статистических данных по износу и работе в режиме эксплуатации каждого конкретного двигателя.

Для полноты прогноза требуется создание библиотеки возможных последствий выхода анализируемого параметра за предельные значения. Таким образом, при подсчете индекса эффективности, кроме выделения цветом, на элементах, значения которых попадают в красную зону (ИЭФ от −10 до 6,1), должно появляться «всплывающее окно» с предложением обратить внимание на те или иные механизмы, износ или дефект которых вызывает изменение данного параметра (рис. 5). Формировать базу данных для библиотеки последствий предлагается на основе общей статистики по частоте выхода из строя того или иного механизма СЭУ и связанных с этим отказом сдвигов показателей параметров. База данных также должна иметь возможность добавления оператором зафиксированных поломок (замен, ремонтов), таким образом подстраиваясь под индивидуальные особенности обслуживаемой СЭУ. Аналитический материал, полученный из дополненных баз данных, позволит уточнить применяемые в методе МПП граничные значения для каждого конкретного типа и модели судового двигателя.



Ni (никель)	4,75	1,75	-0,50	-2,25
ИЭФ	4,75	2,56	-2,46	-2,41
Pb (свинец)	10,00	10,00	10,00	9,94
ИЭФ	10,00	10,00	10,00	9,98
Sn (олово)	9,50	10,00	9,75	9,00

Рис. 5. Пример всплывающего окна МПП

В функционирующей СЭУ загрязнение масла – процесс постоянный, он обусловлен попаданием в масляную систему продуктов неполного сгорания топлива, частиц износа механизмов, элементов, возникающих как результат окисления и термического воздействия. Предотвра-

тить старение масла невозможно, но отсрочить этот процесс, сохранив стабильную работу двигателя, вполне реально. Установленные на современных судах программные продукты, целью которых является контроль и учет технических элементов, с интеграцией в них программы по анализу масла, основанной на методе МПП, могут дать хорошие результаты как в долгосрочной, так и краткосрочной перспективе, повысив качество контроля за техническим состоянием СЭУ и улучшив процесс последующего технического обслуживания и ремонта, что естественно повысит уровень безопасности, энергоэффективности, технологичности и экологичности топливно-энергетических систем судов.

Заключение

Методика обработки данных по физико-химическим показателям моторных масел, применяемых в СЭУ на основе МПП, позволяет прогнозировать изменение состояния технической системы масло–двигатель во времени, а также управлять процессом потери рабочих характеристик смазочного материала, оценивать скорость деградационных процессов элементов двигателя, планировать операции по его техническому обслуживанию и ремонту и оценивать их последующую эффективность. Предложенная методика–аналитически опробована и служит базой для разработки компьютерной программы. Выделим несколько задач, стоящих перед программным комплексом, создаваемым на основе метода МПП.

Во-первых, программа позволит упростить принятие решения службой старшего механика по планированию технического обслуживания подконтрольных механизмов.

Во-вторых, при загрузке результатов регулярно проводимых исследований работающего масла программа, основанная на МПП, в цифровом и графическом виде будет сообщать о состоянии подконтрольной системы на любом интервале наработки двигателя. В свою очередь, это позволяет определить, в какой промежуток времени произошло то или иное событие, повлекшее за собой выход параметров за границы нормы. Программа может не только иметь индивидуальное исполнение, но и служить надстройкой путем интеграции в более крупные и сложные программные комплексы по планированию технического обслуживания механизмов на флоте.

В-третьих, программное обеспечение позволит сформировать базу аналитической информации, необходимой для повышения качества разработки судовых двигательных установок, особенно в контексте учета усталостных и динамических нагрузок, коррозионного и фрикционного воздействий. Данные материалы позволят производителям и проектировщикам двигателей провести сравнительный анализ результатов применения сконструированных механизмов с изначальными проектными решениями и ожиданиями (сроками наработки на отказ, спецификой выхода оборудования из строя). Подобная аналитика будет крайне важной для последующей разработки комплекса мер по повышению качества технического обслуживания и ремонта судовых энергетических установок, поскольку накопление информации и анализ отработанных масел по каждому определенному двигателю во времени дают представление о наиболее частых отказах элементов, приводя к типизации неисправностей определенных моделей двигателя в конкретных временных промежутках [5].

Перспективой дальнейшей разработки данного программного обеспечения, помимо вышеизложенных задач, может стать создание интеллектуальной системы с возможностью распознавания дефектов и определения рисков наступления аварийного состояния.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Биргер И.А. Техническая диагностика. Москва: Машиностроение, 1978. 240 с.
2. Булгаков С.П. Международный кодекс по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращением загрязнения (МКУБ) // Транспорт: наука, техника, управление. 2014. № 9. С. 42–47.

3. Международный кодекс по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращением загрязнения. Резолюция IMO A.741(18). 1995.
4. Мясников Ю.Н., Никитин В.С., Равин А.А. Эксплуатационные дефекты судовых дизельных и газотурбинных двигателей // Труды Крыловского государственного научного центра. 2018. № 3(385). С. 85–100.
5. Равин А. А. Актуальные задачи диагностики морских газотурбинных двигателей // Судостроение. 2012. № 3. С. 42–44.
6. РД 31.2.07-2001. Топлива, масла, смазки и специальные жидкости для судов морского транспорта. Номенклатура и область применения / Минтранс РФ; Гос. служба Морского флота. Санкт-Петербург, 2001. 77 с.
7. ЯКУТ.12-001-97 Сборник инструкций по браковочным показателям всех видов смазочных и гидравлических масел, применяемых на судах морского флота: нормативный документ. Введ. 1997-04-15. Ленинград: ЦНИИМФ, 1997. 34 с
8. Cong Y., Gan H., Wang H. Parameter investigation of the pilot fuel post-injection strategy on performance and emissions characteristics of a large marine two-stroke natural gas-diesel dual-fuel engine. *Fuel*. 2022;323:124404.
9. Coraddu A. et al. Marine dual fuel engines monitoring in the wild through weakly supervised data analytics. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2021;100:104179.
10. Grimmig R. et al. Analyses of used engine oils via atomic spectroscopy – Influence of sample pretreatment and machine learning for engine type classification and lifetime assessment. *Talanta*. 2021;232:122431.
11. Howard K. Advanced engine oils. Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance. Woodhead Publishing, 2022. P. 173–195.
12. Liu J. S., Thompson G. The multi-factor design evaluation of antenna structures by parameter profile analysis. *Journal of Engineering Manufacture*. 1996;210(5):449–456.
13. Myagkov L.L. et al. Conventional and advanced internal combustion engine materials Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance. Woodhead Publishing, 2022. P. 353–412.
14. Tung S.C., Gao H. Tribological characteristics and surface interaction between piston ring coatings and a blend of energy-conserving oils and ethanol fuels. *Wear*. 2003;255(7–12):1276–1285.
15. Wang P. et al. Experimental investigation of the effects of Miller timing on performance, energy and exergy characteristics of two-stage turbocharged marine diesel engine. *Fuel*. 2021;292:120252.
16. Wang R., Chen H., Guan C.A Bayesian inference-based approach for performance prognostics towards uncertainty quantification and its applications on the marine diesel engine. *ISA transactions*. 2021;118:159–173.
17. Wang R. et al. Research on the fault monitoring method of marine diesel engines based on the manifold learning and isolation forest. *Applied Ocean Research*. 2021;112:102681.
18. Wolak A. et al. Identifying and modelling changes in chemical properties of engine oils by use of infrared spectroscopy. *Measurement*. 2021;186:110141.
19. Qu C. et al. Predictive anomaly detection for marine diesel engine based on echo state network and autoencoder. *Energy Reports*. 2022;8:998–1003.

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2022. N 4/53
Ship Power Plants www.dvfu.ru/en/vestnikis

Original article
http://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-4/85-95

Mazur E., Shcherban P., Mazur V.

EKATERINA V. MAZUR, Assistant, Lecturer, EVMazur@kantiana.ru
PAVEL S. SHCHERBAN, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, ursa-maior@yandex.ru
VALERIA S. MAZUR, Postgraduate Student, vmazur@kantiana.ru
Educational and scientific cluster “Institute of High Technologies”
Immanuel Kant Baltic Federal University
Kaliningrad, Russia

Marine engine oil performance study using a process parameter matrix

Abstract. In this study a method has been developed that allows to increase the service life of mechanisms and improve the reliability of ship equipment in operating conditions. The effect is achieved by detecting the most significant and influential parameters of the motor oil used, establishing boundary values for each of them and determining the degree of deviation of the actual parameters from the boundary parameters. The processing of an array of physical and chemical data on engine oil, taking into account the time between failures of equipment, is carried out by a specialized computer program being developed for monitoring the state of a marine engine in operation. The designed software package allows to maintain of the SPP (ship power plant) more accurate and timelier.
Keywords: parameter matrix method, engine oil, marine engine, bearing wear, oil analysis

For citation: Mazur E., Shcherban P., Mazur V. Marine engine oil performance study using a process parameter matrix. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2022;(4):85–95. (In Russ.).

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflict of interests.

REFERENCES

1. Birger I. A. Texnicheskaya diagnostika. Mashinostroenie, 1978. 240 p. (In Russ.).
2. Bulgakov S.P. International Code for the Management of the Safe Operation of Ships and Pollution Prevention (ISM Code). *Transport: science, equipment, management*. 2014;(9):42–47. (In Russ.).
3. International Management Code for the Safe Operation of Ships and Pollution Prevention. IMO Resolution A.741(18). 1995. (In Russ.).
4. Myasnikov Yu.N., Nikitin V.S., Ravin A.A. Operational defects of marine diesel and gas turbine engines. *Transactions of the Krylov State Research Centre*. 2018;(3):85–100. (In Russ.).
5. Ravin A.A. Actual problems of diagnostics of marine gas turbine engines. *Shipbuilding*. 2012;(3):42–44. (In Russ.).
6. RD 31.2.07-2001. Topliva, masla, smazki i special`ny`e zhidkosti dlya sudov morskogo transporta. Nomenklatura i oblast` primeneniya. Mintrans RF; Gosudarstvennaya sluzhba Morskogo flota. SPb., 2001. 77 p. (In Russ.).
7. YAKUT.12-001-97 Sbornik instruktsii po brakovochnym pokazatelyam vsekh vidov smazochnykh i gidravlicheskikh masel, primenyaemykh na sudakh morskogo flota: normativnyi dokument. Vved. 1997-04-15. Leningrad, TSNIIMF, 1997. 34 p. (In Russ.).
8. Cong Y., Gan H., Wang H. Parameter investigation of the pilot fuel post-injection strategy on performance and emissions characteristics of a large marine two-stroke natural gas-diesel dual-fuel engine. *Fuel*. 2022;323:124404.
9. Coraddu A. et al. Marine dual fuel engines monitoring in the wild through weakly supervised data analytics. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2021;100:104179.
10. Grimmig R. et al. Analyses of used engine oils via atomic spectroscopy – Influence of sample pretreatment and machine learning for engine type classification and lifetime assessment. *Talanta*. 2021;232:122431.
11. Howard K. Advanced engine oils. Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance. Woodhead Publishing, 2022. P. 173–195.
12. Liu J.S., Thompson G. The multi-factor design evaluation of antenna structures by parameter profile analysis. *Journal of Engineering Manufacture*. 1996;210(5):449–456.
13. Myagkov L.L. et al. Conventional and advanced internal combustion engine materials Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance. Woodhead Publishing, 2022. P. 353–412.
14. Tung S.C., Gao H. Tribological characteristics and surface interaction between piston ring coatings and a blend of energy-conserving oils and ethanol fuels. *Wear*. 2003;255(7–12):1276–1285.
15. Wang P. et al. Experimental investigation of the effects of Miller timing on performance, energy and exergy characteristics of two-stage turbocharged marine diesel engine. *Fuel*. 2021;292:120252.
16. Wang R., Chen H., Guan C.A Bayesian inference-based approach for performance prognostics towards uncertainty quantification and its applications on the marine diesel engine. *ISA transactions*. 2021;118:159–173.
17. Wang R. et al. Research on the fault monitoring method of marine diesel engines based on the manifold learning and isolation forest. *Applied Ocean Research*. 2021;112:102681.
18. Wolak A. et al. Identifying and modelling changes in chemical properties of engine oils by use of infrared spectroscopy. *Measurement*. 2021;186:110141.
19. Qu C. et al. Predictive anomaly detection for marine diesel engine based on echo state network and autoencoder. *Energy Reports*. 2022;8:998–1003.