

DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-4-701-714

DEVELOPMENT OF THE COMPUTER PROGRAM FOR ANALYSIS STRUCTURAL INTEGRITY OF MARINE ENGINE ELEMENTS

E. V. Mazur, N. L. Velikanov, V. S. Mazur

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russian Federation

Timely implementation of maintenance processes provides confidence in maintaining performance and integrity throughout the life cycle of the system. Various developments in monitoring and analysis methods are aimed at maintaining the operability of systems by minimizing the failure rate. The developed computer program, presented in the paper, is used as one of the tools for assessing the technical condition of a ship power plant, allowing the use of an integrated approach to predicting and managing the quality of maintenance, including an assessment of the costs and timing of the implementation of repair work. When describing the creation of a computer program for assessing the structural integrity of ship engine elements, special attention is paid to the libraries used and the methods necessary for a comprehensive consideration of the “oil-engine” system. The Makava program, based on laboratory analyzes, allows you to determine the residual life of engine oil according to the actual state, by determining the parameters that mainly affect its aging, wherein setting threshold values for these parameters, forms the degree of deviation of actual values from the boundary values, predicting further wear of certain elements of the system. The program contains a database of typical changes in oil indicators regarding the occurrence of possible structural defects in the elements of the system, helps to expand the information resource by collecting, processing, accumulating and storing information on the degradation of the components of the propulsion complex of various engine models for subsequent planning of measures for the quality of maintenance and repair of shipboard power installations.

Keywords: process parameter matrix, motor oil, marine engine, oil analysis, computer program.

For citation:

Mazur, Ekaterina V., Nikolay L. Velikanov, and Valeriya S. Mazur. “Development of the computer program for analysis structural integrity of marine engine elements.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.4 (2023): 701–714. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-4-701-714.

УДК 67.019

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ АНАЛИЗА СТРУКТУРНОЙ ЦЕЛОСТНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Е. В. Мазур, Н. Л. Великанов, В. С. Мазур

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»,
Калининград, Российская Федерация

Своевременная реализация процессов технического обслуживания обеспечивает уверенность в сохранении производительности и целостности в течение жизненного цикла системы. Различные разработки методов контроля и анализа направлены на сохранение работоспособности систем сводя к минимуму частоту отказов. В статье представлена разработанная компьютерная программа, применяемая как один из инструментов для оценки технического состояния судовой энергетической установки, которая позволяет использовать интегрированный подход к прогнозированию и управлению качеством технического обслуживания, включая оценку затрат и сроков реализации ремонтных работ. При описании создания компьютерной программы для оценки структурной целостности элементов судового двигателя особое внимание уделяется использованным библиотекам и методам, необходимым для комплексного рассмотрения системы «масло – двигатель». Программа «Макава» позволяет на основе лабораторного анализа определить остаточный ресурс моторного масла по фактическому состоянию путем определения параметров, преимущественно оказывающих влияние на его старение, при этом устанавливая пороговые значения по данным параметрам, формирует степень отклонения фактических значений от граничных, прогнозируя в дальнейшем износ тех или иных элементов системы. Программа содержит базу данных типовых изменений показателей масла

относительно возникновения возможных конструктивных дефектов элементов системы, помогает расширить информационный ресурс посредством сбора, обработки, накопления и хранения информации о деградации компонентов пропульсивного комплекса различных моделей двигателей для последующего планирования мер по улучшению качества обслуживания и ремонта судовых энергетических установок.

Ключевые слова: матрица параметров процесса, моторное масло, судовой двигатель, анализы масел, компьютерная программа.

Для цитирования:

Мазур Е. В. Разработка компьютерной программы для анализа структурной целостности элементов судового двигателя / Е. В. Мазур, Н. Л. Великанов, В. С. Мазур // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 4. — С. 701–714. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-4-701-714.

Введение (Introduction)

Изменчивость, являющаяся неотъемлемой частью всех реальных систем, характеризуется как положительным значением: повышением эффективности работающих систем, так и отрицательным — износом, приводящим к снижению эффективности. Износ на ранних стадиях изменчивости не наносит урона производительности системы, но в долгосрочной перспективе неизбежно приводит к поломке механизма [1], [2]. Надежная работа энергетического оборудования на морских судах во многом зависит от поддержания в работоспособном состоянии используемых смазочных масел, а эффективность проведения действий по оперативному контролю состояния масляной системы снижает вероятность возникновения критической ситуации и уменьшает негативное воздействие, вызванное старением масла.

Система лабораторных исследований включает контроль показателей качества, влияющих на такие эксплуатационные характеристики, как антикоррозионные, антиокислительные, противозносные, пенообразующие, антифрикционные и вязкостные. Сочетание показателей и интенсивность их проявления определяют эффективную работу масла. Анализ образцов моторного масла предоставляет важную информацию, необходимую для раннего обнаружения неисправностей оборудования, отображая состояние работоспособности элементов и механизмов. Превышение частиц металла в составе указывает на повышенный износ механизмов, чрезмерное загрязнение масла неметаллическими компонентами свидетельствует о плохой защите циркуляционной системы от внешней среды.

Изменение физических и химических свойств масла приводит к нарушению его основных функций: обеспечению непрерывности масляной пленки на поверхностях относительно движущихся механизмов, предотвращая тем самым износ и трение, защите от коррозии и охлаждения рабочих элементов [3], [4]. Развитие подходов к улучшению эксплуатационных характеристик СЭУ, снижение затрат на техническое обслуживание, введение новых правил по защите окружающей среды требуют разработки и внедрения новых методов и средств результативного наблюдения состояния моторных масел с акцентом на повышении надежности [5], [6].

При контроле масляной системы судового двигателя с помощью лабораторных исследований в режиме эксплуатации возможно использование диагностических средств, таких как портативные мини-лаборатории экспресс-диагностики, способных в реальном времени оценить состояние масла. Широкое применение таких лабораторий сдерживается высокой стоимостью устройств, необходимостью доступности реагентов для проведения исследований масла, при этом не отменяя требований Российского морского регистра судоходства в части методических рекомендаций по обеспечению проведения анализов смазочного масла [7]. *Целью предлагаемого исследования является разработка средства оперативного контроля моторного масла морского двигателя с применением метода, основанного на математической модели.*

Инструментом для оценки состояния элементов СЭУ и последующим прогнозом остаточного ресурса масла является программное обеспечение, созданное на базе метода параметров процесса применяемого к лабораторным исследованиям отработанного масла [8]. Характеристикой, описы-

вающей свойства моторного масла и степень его деградации, являются оцениваемые параметры. Индекс эффективности оцениваемых параметров (ИЭФ) представляет собой линейную комбинацию выбранных ключевых показателей эффективности, определяющих нормальные значения элементов исследуемой структуры, помогая скорректировать временные интервалы технического обслуживания судового двигателя. Программа создана максимально гибкой, она позволяет определять и изменять исследуемый набор параметров, делая представленное приложение инструментом оптимизации для соблюдения определенных системных требований к остаточному ресурсу масляной системы судового двигателя.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Прогнозирование будущего и понимание происходящих явлений, основанное на наблюдении поведения последовательно полученных точек событий, сосредоточено на разработке моделей анализа временных рядов, описывающих поведение системы, способной к изменениям под влиянием внешних и / или внутренних событий. Обнаружение отклонений от нормы (смещение границ, выявление аномалий) во временных рядах в настоящее время представляет широкий интерес во многих областях науки и техники [9], [10]. Методы обнаружения изменений и анализ работы системы «масло – двигатель» разработаны таким образом, чтобы быть эффективными с точки зрения вычислений [11], [12].

Схематичная структура «Макава» приведена на рис. 1. При помощи представленного программного обеспечения появляется возможность на основе статистических данных анализов масла двигателя предсказать износ тех или иных элементов, тем самым скорректировав время и затраты на техническое обслуживание СЭУ и ее механизмов.

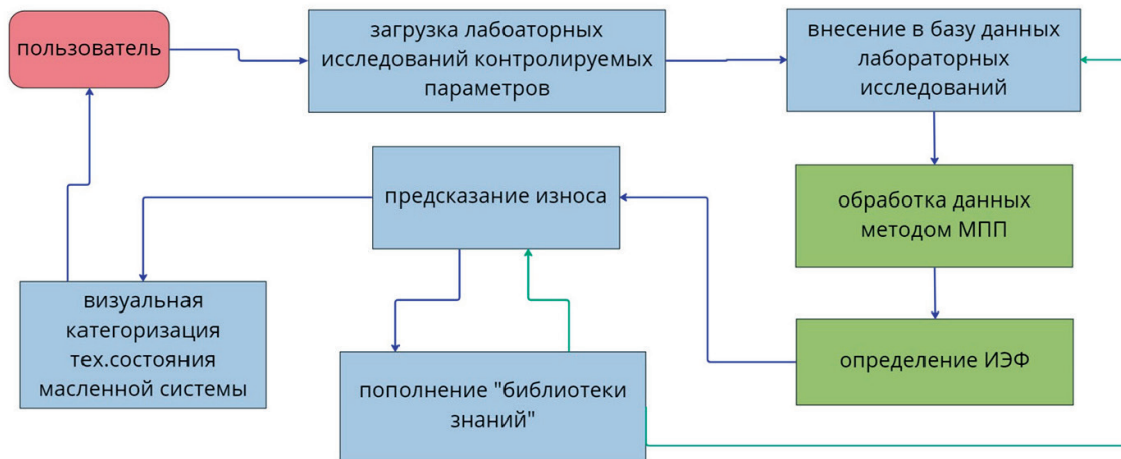


Рис. 1. Схема структуры компьютерного программного обеспечения «Макава»

При создании программы был использован формат базы данных SQLite3, который является одним из наиболее эффективных, расширяемых и простых в использовании систем управления пространственно-временными данными, он полностью автономен и не имеет внешних зависимостей [13]. Применение SQLite3 может оказать помощь в использовании новых алгоритмов и подходов при анализе лабораторной диагностики масла ввиду общедоступности результатов исследований. При создании базы данных были учтены основные требования к характеристикам библиотеки, так как обрабатываемые данные являются репрезентативными (поступающие в базу показания различаются по количеству элементов, являются разнообразными по фактическому содержанию (внешний вид и содержание различны у лабораторий, представляющих отчеты анализов), сложными (информация поступает из нескольких источников, используется несколько языков), доступными и регулярно дополняемыми [14]. Выбор системы управления базами данных выполнялся с учетом следующих возможностей SQLite3:

- последовательность операций автономна и изолирована;
- требование к настройке и администрированию отсутствует;
- хранение базы данных осуществляется в одном кроссплатформенном файле;
- простое в использовании API;
- использование большинства функций языка запросов.

Структура SQLite3 приведена на рис. 2.

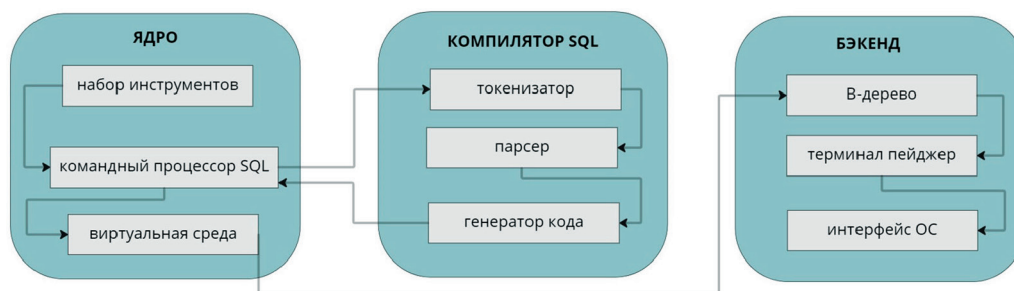


Рис. 2. Структура SQLite3

Применение представленной системы является очень удобным для конечного пользователя в связи с нулевой конфигурацией SQLite — механики должны просто выбрать файл для работы, в то время как разработчик имеет значительное количество параметров настройки. При установке программы на устройство с ограниченной операционной системой SQLite3 также имеет преимущество, так как простое использование ресурсов и небольшой объем кода приводят к минимизации поддержки со стороны хост-среды. Так, для того чтобы фактически подключиться к базе, добавить данные и в зависимости от запроса получить данные и отключиться требуется примерно восемь функций, при этом программный интерфейс SQLite3 в третьей версии имеет в своем распоряжении примерно 80 функций.

Система управления базами данных SQLite3 представляет интерфейс API языка C, что значительно упрощает работу с базой данных. При создании базы данных компьютерной программы «Макава» использовались базовые функции sqlite3. Создание БД и подключение к ней с помощью sqlite3 показано на рис. 3, а. После подключения к базе данных создаем таблицу, содержащую данные по часам наработки двигателя, и информацию по исследуемым параметрам отработанного масла (рис. 3, б).

```

a)
13 conn = sqlite3.connect('metering.db')
14 cur = conn.cursor()
15 conn.enable_load_extension(True)
16 conn.load_extension("./stats")
17

б)
51 def to_table():
52     tables = get_tables(file, get_pages(file))
53     cur.execute("""UPDATE sample_ref
54                 SET U_code = 1
55                 WHERE U_code = 0""")
56     conn.commit()
57     tables.to_sql('sample_ref', conn=conn, if_exists='append', index=False)
    
```

Рис. 3. Часть кода:

а — подключение к БД; б — добавление данных в БД

При разработке приложения были определены две части: первая часть — предварительная обработка для установления входных переменных (извлечение данных), вторая часть — процедура

фактических вычислений. Математические модели интегрированы в виде отдельных расширений. Все программирование было выполнено на языках sql и Python.

Основополагающее значение при извлечении информации имеет сбор данных с использованием современных технологий [15], [16]. Результаты анализов масла, как правило, поступают в службу старшего механика в виде pdf-документов. Данный формат, разработанный для хранения и структурирования данных, давно и широко используется во всем мире, позволяя легко обмениваться информацией. В этой связи неизбежно встает вопрос об обработке информации, представленной в формате pdf. В настоящее время существует ряд библиотек и пакетов Python, предоставляющих степень свободы для компиляции скриптов, одной из которых является PyPDF2.

Данная библиотека фиксирована на манипулировании документом путем разделения страниц, извлечения содержимого страница за страницей, объединения нескольких pdf-файлов и т. д. После сбора данных с документа в формате pdf проходит сериализации объектов при помощи библиотеки PyPDF2 и уже структурированная информация хранится в базе данных. Такой метод не только эффективен при быстром поиске с использованием ключа, но также показывает высокие результаты при работе с нелинейными структурами данных. Алгоритм извлечения данных в среде Python представлен на рис. 4.

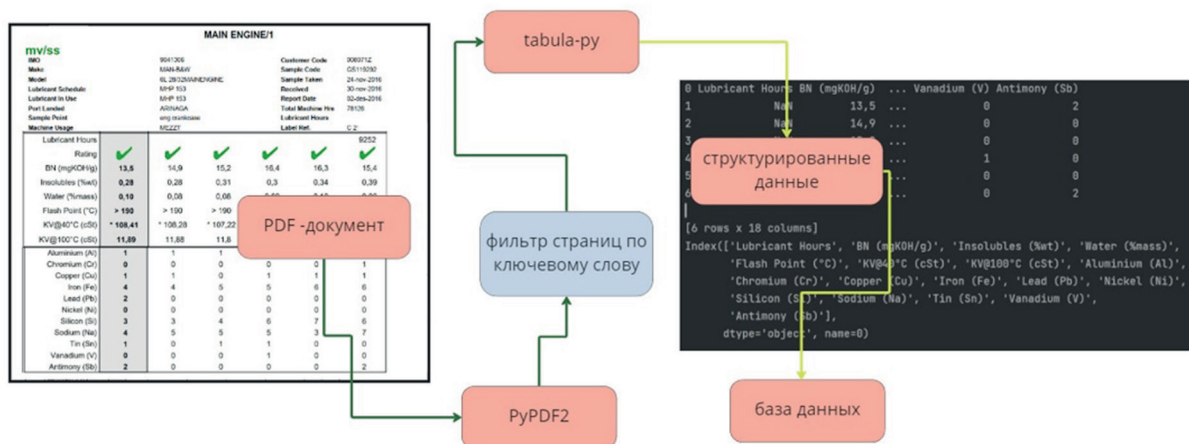


Рис. 4. Схема процесса извлечения данных

Представленная библиотека Python имеет ограничения в процессе извлечения данных из документов формата pdf. Так, например, PyPDF2 в некоторых случаях игнорирует пробелы, что ведет к выводу данных не в табличной форме, а в виде текста. В этой связи PyPDF2 была использована для поиска необходимой страницы по ключевому словосочетанию «main engine», вторая библиотека tabula-py — для чтения таблицы во избежание игнорирования пробелов.

Большой интерес со стороны программистов вызывает использование языка Python как средства для интеллектуального анализа данных. Благодаря открытому исходному коду и наличию множества инструментов общего назначения методы Python можно распределить исходя из поставленной задачи, будь то выполнение функции или соответствие приложению, в которых данные функции могут использоваться. Формирование запросов (инструкций), поиск, сортировка и структурирование необходимой информации среди множества при работе с базами данных отводится языку SQL, осуществляющему три основные функции: запрос к базе данных для отображения информации, необходимой для ответа на вопрос, сбор и хранение данных в табличном виде и контроль их безопасности [17]. Для манипулирования данными язык SQL наделен группой операторов DML имеющих четыре основные команды:

- проведение выборки данных;
- внесение новых данных;
- изменение существующих данных;
- удаление данных.

При разработке интеллектуальной программы «Макава» полученные в результате лабораторных исследований физико-химические показатели отработанного моторного масла проходят следующие этапы обработки:

1-й этап — сравнение полученных данных предельных уровней нормальных значений, согласно требованиям системы морского транспорта [18], и с учетом граничных значений, представленных лабораторией;

2-й этап — формирование верхней ($P_{в.к}$) и нижней ($P_{н.к}$) предельных границ и средних значений исследуемых параметров;

3-й этап — приведение количественных значений к безразмерным величинам;

4-й этап — составление матрицы параметров процесса (МПП) [19];

5-й этап — определение индекса эффективности каждого из параметров.

После извлечения данных из документов формата pdf и формирования таблицы осуществляется переход к этапу сопоставления полученной информации с нормальными значениями, которые могут быть либо предложены лабораторией в тех же обрабатываемых материалах (рис. 5), либо в виде перехода к информации по граничным значениям согласно «РД 31.2.07–2001. Топлива, масла, смазки и специальные жидкости для судов морского транспорта».

New Oil	Critical Val.	Analysis			
100.0	<75 or >220	Appearance	Dark	Dark	Dark
11.5	<9.2 or >17.5	KV@40°C[mm²/s]	106.6	106.1	107.2
		KV@100°C[mm²/s]	11.80	11.65	11.81
	>0.5	Water[%wt]	0.10	0.05	0.10
15	<7.5	BN[mgKOH/g]	14.6	14.8	15.3
230	<170	Flash Point	>200	>200	>200
	>1.5	Soot/Insoluble[%wt]	0.30	0.40	0.30
		PQ Index/2ml	<10	23	<10
Wear Elements [ppm]					
	>100*	Aluminium (Al)	<1	2	2
	>50*	Chromium (Cr)	1	<1	1
	>50*	Copper (Cu)	1	<1	<1
	>150*	Iron (Fe)	4	5	4
	>50*	Lead (Pb)	<1	1	<1
	>30*	Tin (Sn)	<1	<1	<1
Contaminant Elements [ppm]					
		Boron (B)	<1	<1	1
	>100*	Sodium (Na)	6	5	6
	>50*	Silicon (Si)	<1	<1	2
		Molybdenum (Mo)	<1	<1	<1
		Nickel (Ni)	1	<1	<1
		Silver (Ag)	<1	<1	<1
		Vanadium (V)	<1	<1	<1

Рис. 5. Результаты лабораторных испытаний масла

Представленные методы и алгоритмы обработки данных при создании программного обеспечения достаточно эффективны и просты в применении. Предложенные библиотеки совместимы с рядом других библиотек используемых в Phyton, что дает возможность добавления функций или усовершенствования программы.

Результаты (Results)

На первом этапе обработки, при сравнении полученных лабораторных данных с нормальными значениями, используются следующие функции (рис. 6):

- выражающая показания средних значений и среднеквадратичного отклонения (принимаются только те из них, которые попадают в диапазон нормальных значений, остальные не учитываются (1,0 — идентификаторы групп) — рис. 6, а (для новых (0) и старых (1) значений выбросы не учитываются);
- обнаружения выбросов во вновь поступивших данных (рис. 6, б);
- сравнения актуальных значений с предыдущими (рис. 6, в).

Обобщение выборки на совокупность несет в себе риски неточности, применение нулевой гипотезы дает возможность решить, когда выборку следует обобщать. Для проверки однородности двух случайных выборок и обнаружения сдвигов граничных пределов эффективным является использование статистического критерия Манна – Уитни. Критерий Стьюдента помогает определить значимость расхождения при определении средних величин анализируемых параметров. Если в выборке количество ранее поступивших значений больше или равно пятидесяти, то при сравнении используется распределение Стьюдента, менее пятидесяти — критерий Манна – Уитни и нулевая гипотеза, если новые значения не имеют отличия от ранее поступивших (применяется по умолчанию).

а)

```

73 def stats(column):
74     if column in data_norm_elements.keys():
75         value = data_norm_elements[column]
76         cur.execute("""SELECT AVG(column) AS column_ma,
77                       STDEV_POP(column) AS column_stddev
78                       FROM (
79                           SELECT %s AS column, U_code FROM sample_ref
80                           WHERE column < %f) AS one
81                       GROUP BY U_code;
82                       """ % (column, value))
83         result = cur.fetchall()
    
```

б)

```

99 def release(column):
100     if column in data_norm_elements.keys():
101         value = data_norm_elements[column]
102         cur.execute("""SELECT %s as column FROM sample_ref
103                       WHERE column > %f and U_code = 0
104                       ;
105                       """ % (column, value))
106         result = cur.fetchall()
107
    
```

в)

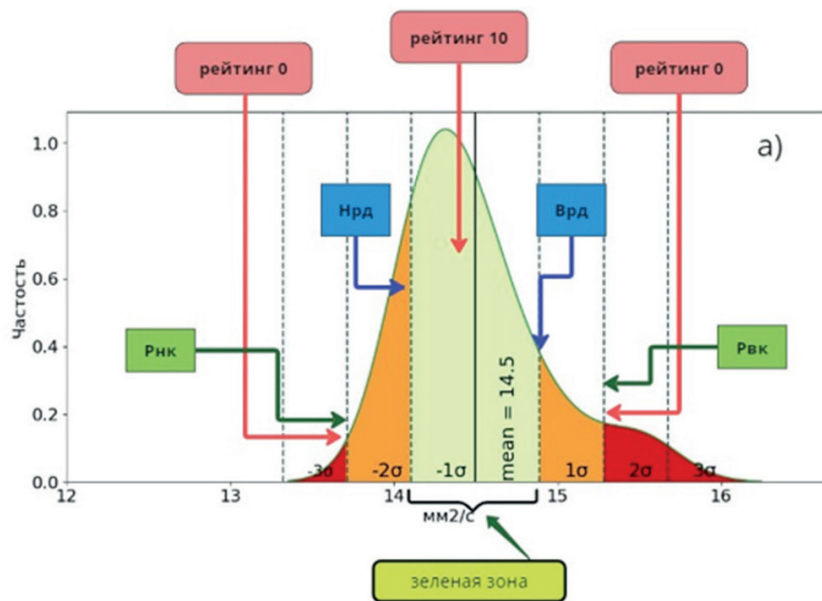
```

0 def compare(column):
1     if len(old_data) <= 50:
2         statistic, pvalue = stats.mannwhitneyu(old_data[column].dropna().tolist())
3     else:
4         statistic, pvalue = stats.ttest_ind(old_data[column].dropna().tolist(), n
5     if pvalue < 0.05:
6         print('Новые данных отличаются от старых данных')
7     else:
8         print('Новые данные не отличаются от старых данных')
    
```

Рис. 6. Функции, использованные при сравнении данных (часть кода):
 а — функция для нахождения среднего и стандартного отклонений;
 б — функция для обнаружения выбросов в новых (0) данных;
 в — функция для сравнения старых (1) и новых (0) данных

Второй этап математической обработки включает определение верхних и нижних предельных значений исследуемых элементов и обозначений зон продуктивности. Зона продуктивности, или «зеленая зона», — диапазон с наилучшей эффективностью работы параметра, ограниченный контрольными границами (рис. 7). Металлические включения и содержание золы, как правило, имеют один допустимый предел согласно физическому смыслу и в этой связи «зеленая зона» будет иметь односторонний допуск. Такие показатели как вязкость, щелочное число, температура вспышки будут иметь двусторонний допуск. Приближение значений к любой из границ является признаком понижения продуктивности.

а)



б)

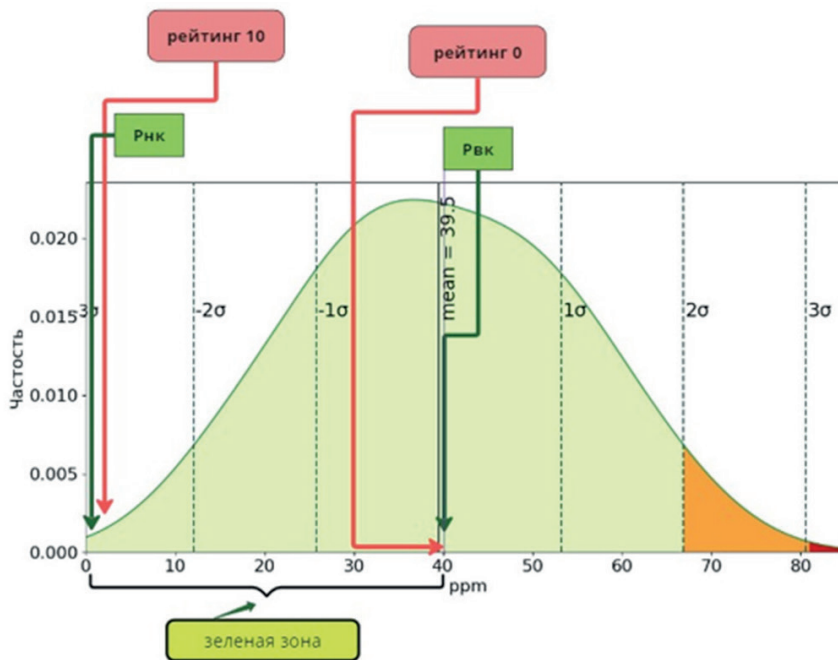


Рис. 7. Кривые распределения анализируемых данных с отмеченными контрольными границами и «зелеными зонами» показателей:
а — вязкости при 100 °С; б — никеля

Для последующей математической обработки необходимо перевести показания каждого исследуемого элемента (Ξ_{ij}) в лабораторных анализах к безразмерным единицам по шкале от 0 до 10. Для перевода используются следующие выражения:

$$\Xi_{ij} = 10 \frac{P_d - P_{в.к}}{P_{н.к} - P_{в.к}}; \quad (1)$$

$$\Xi_{ij} = 10 \frac{P_d - P_{н.к}}{P_{в.к} - P_{н.к}}, \quad (2)$$

где P_d — фактическое значение параметра.

Формула (1) применяется в случае, когда концентрация системной переменной более предпочтительна в области нижней контрольной границы ($P_{н.к}$). Данное выражение используется при расчете таких параметров, как, например, содержание воды, металлов, общее кислотное число (TAN). Наивысший балл «10» будет присваиваться в этом случае на нижней границе «зеленой зоны».

Формула (2) применима при благоприятной фиксации параметра в районе верхней контрольной границы ($P_{в.к}$). Например, температура вспышки и балл «10» определяются на верхней контрольной границе «зеленой зоны». При определении рейтинговых значений таких параметров, как индекс вязкости (рис. 8, а), когда лучшая производительность находится в рабочей зоне и приближение значений к верхней ($B_{р.д}$) или нижней ($H_{р.д}$) границе рабочего диапазона является одинаково неблагоприятным, будут использоваться выражения (3) и (4) соответственно:

$$\Theta_{ij} = 10 \frac{P_{в.к} - P_d}{P_{в.к} - B_{р.д}}, \quad (3)$$

$$\Theta_{ij} = 10 \frac{P_{н.к} - P_d}{P_{н.к} - H_{р.д}}, \quad (4)$$

После перевода системных переменных анализируемого масла к кодированным значениям формируется матрица параметров процесса (МПП): строки матрицы — приведенные к безразмерным единицам параметры исследуемой системы, столбцы — время наработки двигателя в часах:

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cccccc}
 T_1 & T_2 & \dots & \dots & T_j & \dots & T_m \\
 \hline
 & & & \dots & & & \\
 \Pi_1 & \Theta_{11} & \Theta_{12} & \dots & \dots & \Theta_{1j} & \dots & \Theta_{1m} \\
 \Pi_2 & \Theta_{21} & \Theta_{22} & \dots & \dots & \Theta_{2j} & \dots & \Theta_{2m} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \Pi_i & \Theta_{i1} & \Theta_{i2} & \dots & \dots & \Theta_{ij} & \dots & \Theta_{im} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \Pi_n & \Theta_{n1} & \Theta_{n2} & \dots & \dots & \Theta_{nj} & \dots & \Theta_{nm}
 \end{array}
 \end{array} \quad (5)$$

Участок функции для приведения системных переменных к безразмерным величинам с дальнейшим формированием МПП на языке Python показан на рис. 8.

```

35 def marix():
36     df = pd.DataFrame(new_data['LubricantHours'])
37     for key in elements.keys():
38         if key in names:
39             k = elements[key][0] # нижняя
40             l = elements[key][1]
41         else:
42             k = elements[key][1]
43             l = elements[key][0] # нижняя
    
```

Рис. 8. Часть функции перевода количественных значений к нормированным с последующим составлением МПП

Индекс эффективности — ИЭФ (рис. 9, а) каждого исследуемого элемента масла определяется согласно следующим выражениям:

$$ИЭФ_i = F_i m, \quad i = 1, 2 \dots n; \quad (6)$$

$$\frac{1}{F} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{M_{ij}}, \quad (7)$$

где M_{ij} — точка данных матричного профиля;

m — строки;

n — столбцы.

Часть функции для определения ИЭФ на языке Python приведена на рис. 9, б).

а)

Параметры	Время работы оборудования (ч)							ИЭФ
	7121	8392	9662	10930	12198	13480	...	
Al (Алюминий) (ppm)	9,50	9,25	8,50	8,50	8,50	8,25	...	8,60
Cr (Хром) (ppm)	10,00	10,00	9,75	9,50	10,00	9,75	...	9,89
Cu (Медь) (ppm)	10,00	10,00	9,94	9,94	10,00	10,00	...	9,98
Fe (Железо) (ppm)	9,14	8,86	8,57	8,00	8,79	8,43	...	8,59
Ni (Никель) (ppm)	4,75	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,00
Pb (Свинец) (ppm)	10,00	10,00	10,00	9,94	9,94	10,00	...	9,97
Sn (Олово) (ppm)	9,50	10,00	9,75	9,00	9,50	10,00	...	9,78
Na (Натрий) (ppm)				4,86	6,57	5,57	...	4,90
Si (Кремний) (ppm)	8,20	8,00	7,40	7,00	7,00	6,80	...	7,14
V (Ванадий) (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,00
Вязкость кинематическая при 100 °С	6,02	6,24	6,27	6,39	6,02	6,02	...	6,35
Щелочное число (мгКОН/г)	2,19	2,15	0,24	0,00	4,39	5,20	...	0,00
Вода (объем, %)	7,80	7,60	7,60	7,00	9,20	4,40	...	7,45
Температура вспышки (SETA)	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	...	7,64

б)

```

54 def IF(df):
55     new_df = pd.DataFrame()
56     df.index = new_data['LubricantHours']
57     df = df.T
58     for i in df.index:
59         l = []
60         d = []
61         n = 1
62         for k in df.loc[i]:
63             if np.isnan(1 / k):
64                 d.append(1 / k)
65                 n += 0
66             else:
67                 l.append(1 / k)

```

Рис. 9. Определение индекса эффективности параметра

Общую оценку эффективности для каждой переменной в системе дает определение среднего значения и среднеквадратического отклонения. Позиция рабочей характеристики, стремящаяся к нулевому значению, указывает на то, что работа масляной системы осуществляется вблизи неприемлемого предела по данному параметру, следовательно, математическое отражение работы должно быть восприимчиво к низким значениям точек данных.

Суммирование обратного значения каждой системной переменной при определении индекса эффективности необходимо во избежание перекрытия особенно низких показаний высокими, что происходит, когда вычисляется только среднее значение. Показатели производительности, представленные в диапазоне от 0 до 10 независимо от количества переменных, участвующих обработке, используются для простоты анализа.

Вслед за числовым определением индекса эффективности по каждому из выбранных параметров для зрительной оценки и простоты восприятия вывод данных, помимо цифровых значений,

представлен в цветовом решении (палитра от насыщенного зеленого (индекс эффективности близок к десяти) до темно-красного (индекс эффективности параметра приближается к нулевому значению)). Визуальная категоризация системы масла в программе «Макава» задается с использованием стандартной библиотеки для работ с таблицами Pandas. Приоритетом использования Python является поддержка библиотеки Pandas, которая идеально подходит для обработки больших наборов данных.

ИЭФ Sn	9.717	9.816	9.848	9.860	9.842	9.856	9.873	9.848	9.811	9.832	9.873	9.750
B	10.000	9.667	8.333	9.000	8.667							
ИЭФ B	9.232	9.092	8.959	9.188	9.286							
Na	9.429	9.000	9.857	9.286	9.571							
ИЭФ Na	9.375	9.370	9.409	9.362	9.371							
Si	8.200	8.200	8.800	8.600	9.400							
ИЭФ Si	8.863	8.929	9.009	9.033	9.090							
V	nan	nan	nan	nan	nan							
ИЭФ V	nan	nan	nan	nan	nan							
Вязкость при 100°C	2.651	2.639	2.675	2.627	2.627							
ИЭФ Вязкость при 100°C	2.917	2.944	2.978	3.016	3.073							
Щелочное число	nan	nan	nan	nan	nan							
ИЭФ Щелочное число	nan	nan	nan	nan	nan	nan	3.647	3.624	3.505	3.313	3.159	2.860
Вода	9.000	8.800	8.000	7.800	8.200	8.800	8.800	8.000	8.200	8.400	8.400	8.000
ИЭФ Вода	8.349	8.295	8.248	8.276	8.340	8.360	8.291	8.196	8.247	8.262	8.195	8.000
Содержание нерастворимого осадка	nan	nan	nan	nan	nan	nan	7.400	7.733	8.000	7.933	8.133	8.133
ИЭФ Содержание нерастворимого осадка	nan	nan	nan	nan	nan	nan	7.880	7.984	8.049	8.066	8.133	8.133

tk

Возможные причины понижения ИЭФ:

Снижение вязкости:
разбавление топливом
смешение с предыдущим маслом
обводнение масла

Повышение вязкости:
полимеризация масла
смешение с предыдущим маслом
привышение частиц продуктов сгорания



Рис. 10. Графическое отображение оценки ИЭФ и «всплывающее окно» с информацией для пользователя

Графический интерфейс для предлагаемого генератора данных десктопного приложения «Макава» был создан с использованием библиотеки Tkinter. Также при помощи данной библиотеки формируется «всплывающее окно» для привлечения внимания пользователя к параметрам, значения индекса эффективности которых переходят порог в 4,99 в сторону нулевого значения, попадая в «красную зону», и появляется информация о том, что необходимо обратить внимание на механизмы, износ или неисправности которых вызывают изменение исследуемых элементов (рис. 10).

Заключение (Conclusion)

Разработка новых методов диагностики судового оборудования, во избежание последствий отказов, вызывает интерес как владельцев судов, так и организаций, призванных обеспечивать безопасность судоходства. Одной из причин аварийности на водном транспорте является отказ двигательной установки [20], [21]. Применение предложенной компьютерной программы на основе математического метода служит частью алгоритмов функционального диагностирования системы наблюдения за состоянием элементов дизельных двигателей.

Использование системы алгоритмов при функциональной диагностике позволяет судам, находящимся в море, применяя минимальное количество дополнительных приборов, выполнять анализ рабочих параметров масла, получаемых в обязательном порядке согласно требованиям МКУБ (Резолюция № А.741(18) Международной морской организации (ред. от 21.06.2013) «Международный кодекс по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращением загрязнения»).

Новым подходом в системе отслеживания и прогноза состояния СЭУ является возможность обработки лабораторных анализов отработанного масла двигателя с последующим накоплением и структурированием информации о состоянии элементов двигателя. Разработанное программное обеспечение, планируемое к подаче на государственную регистрацию, дает возможность сопоставлять результаты новых лабораторных исследований с известными ранее, и на их основе рассчитывать вероятность отказа и визуализировать результаты расчетов.

Pandas и Tkinter — основные библиотеки, применяемые в создании проекта «Макава», автоматически исключают проблему с вычислением данных временных рядов, такую как выбросы. Программное обеспечение «Макава» может быть доработано путем добавления некоторых параметров управления, таких как выбор марки масла, выбор кластера и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yin Y. Parallel-machine scheduling of deteriorating jobs with potential machine disruptions / Y. Yin, Y. Wang, T. C. E. Cheng, W. Liu, J. Li // *Omega*. — 2017. — Vol. 69. — Pp. 17–28. DOI: 10.1016/j.omega.2016.07.006.
2. Gualeni P. Life cycle performance assessment tool development and application with a focus on maintenance aspects / P. Gualeni, G. Flore, M. Maggioncalda, G. Marsano // *Journal of Marine Science and Engineering*. — 2019. — Vol. 7. — Is. 8. — Pp. 280. DOI: 10.3390/jmse7080280.
3. Hou X. Study on the corrosion and wear behaviors of cylinder liner in marine diesel engine burning low sulfur fuel oil / X. Hou, Y. Wang, L. Dai, Y. Yang, J. Du, Y. Wang, H. Wan // *Engineering Failure Analysis*. — 2023. — Vol. 147. — Pp. 107151. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2023.107151.
4. Rao X. Corrosion behaviors of cylinder liner in marine diesel engine burning low sulfur fuel oil: An experimental and molecular dynamics simulation study / X. Rao, C. Sheng, Z. Guo, C. Xu, L. Dai, C. Yuan // *Tribology International*. — 2022. — Vol. 171. — Pp. 107575. DOI: 10.1016/j.triboint.2022.107575.
5. Гужвенко И. Н. Исследование трибологических характеристик деталей цилиндропоршневой группы судового дизельного двигателя методом ускоренных испытаний в смазочной среде, содержащей слоистые модификаторы трения / И. Н. Гужвенко, В. А. Чанчиков, Л. Баракат, Н. В. Прямухина, Е. А. Стринжа, О. П. Ковалев // *Морские интеллектуальные технологии*. — 2019. — № 1–4 (43). — С. 75–82.
6. Ломухин В. Б. Использование модификатора моторного масла на основе серпентина и мягких металлов в судовых энергетических установках / В. Б. Ломухин, А. О. Токарев, В. В. Сургин, И. В. Лаптева // *Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока*. — 2014. — № 3. — С. 136–139.
7. НД № 2–030101–009. Приложения к руководству по техническому наблюдению за судами в эксплуатации. — СПб.: Российский Морской Регистр Судоходства, 2022. — 407 с.
8. Тарасов М. И. Кинетика старения моторного масла в судовых дизелях при непрерывном и периодическом его доливе для компенсации угара / М. И. Тарасов, Г. П. Кича // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология*. — 2023. — № 1. — С. 7–14. DOI: 10.24143/2073-1574-2023-1-7-14.
9. Aminikhanghahi S. A survey of methods for time series change point detection / S. Aminikhanghahi, D. J. Cook // *Knowledge and information systems*. — 2017. — Vol. 51. — Is. 2. — Pp. 339–367. DOI: 10.1007/s10115-016-0987-z.
10. Обрубов М. О. Применение LSTM-сети в решении задачи прогнозирования многомерных временных рядов / М. О. Обрубов, С. Ю. Кириллова // *Национальная Ассоциация Ученых*. — 2021. — № 68–2. — С. 43–48. DOI: 10.31618/nas.2413–5291.2021.2.68.450.
11. Соболенко А. Н. Браковочные показатели регенерированного в установке «РУМС-1» и свежего моторных масел / А. Н. Соболенко, В. В. Тарасов, М. И. Тарасов // *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. — 2021. — № 2 (47). — С. 29–35. DOI: 10.24866/2227-6858/2021-2-4.
12. Безменов И. В. Метод очистки измерительных данных от выбросов: поиск оптимального решения с минимальным количеством отбракованных результатов измерений / И. В. Безменов // *Измерительная техника*. — 2023. — № 1. — С. 16–23. DOI: 10.32446/0368-1025it.2023-1-16-23.
13. Nemetz S. A standardized corpus for SQLite database forensics / S. Nemetz, S. Schmitt, F. Freiling // *Digital Investigation*. — 2018. — Vol. 24. — Pp. S121–S130. DOI: 10.1016/j.diin.2018.01.015.
14. Seeling P. Dataset for WWW landing pages webobject retrieval performance evaluation / P. Seeling // *Data in Brief*. — 2020. — Vol. 30. — Pp. 105429. DOI: 10.1016/j.dib.2020.105429.

15. Олимпиев Н. В. Исследование возможности использования Python-приложения для интеграции систем отслеживания ошибок / Н. В. Олимпиев // *Наукосфера*. — 2022. — № 1–2. — С. 153–158.
16. Ryu Y. Performance and emission characteristics of additives-enhanced heavy fuel oil in large two-stroke marine diesel engine / Y. Ryu, Y. Lee, J. Nam // *Fuel*. — 2016. — Vol. 182. — Pp. 850–856. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.06.029.
17. Wilton P. *Beginning SQL* / P. Wilton, J. W. Colby. — Wiley Publishing, Inc., 2005. — 501 p.
18. РД 31.2.07–2001. Топлива, масла, смазки и специальные жидкости для судов морского транспорта. Номенклатура и область применения. — СПб.: ЗАО “ЦНИИМФ”, 2001. — 105 с.
19. Liu J. S. The multi-factor design evaluation of antenna structures by parameter profile analysis / J. S. Liu, G. Thompson // *Journal of Engineering Manufacture*. — 1996. — Vol. 210. — Is. 5. — Pp. 449–456. DOI: 10.1243/PIME_PROC_1996_210_142_02.
20. Глазюк Д. К. Анализ аварийности морского флота РФ в период 2016–2021 гг / Д. К. Глазюк, З. А. Щербань // *Научные труды Дальрыбвтуза*. — 2022. — Т. 60. — № 2. — С. 49–55.
21. Обзор аварийности с судами на море и на внутренних водных путях Российской Федерации за 2022 год [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://butc.ru/f/2022.pdf> (дата обращения: 01.07.2023).

REFERENCES

1. Yin, Yunqiang, Yan Wang, T.C.E. Cheng, Wenqi Liu, and Jinhai Li. “Parallel-machine scheduling of deteriorating jobs with potential machine disruptions.” *Omega* 69 (2017): 17–28.
2. Gualeni, Paola, Giordano Flore, Matteo Maggioncalda, and Giorgia Marsano. “Life cycle performance assessment tool development and application with a focus on maintenance aspects.” *Journal of Marine Science and Engineering* 7.8 (2019): 280. DOI: 10.3390/jmse7080280.
3. Hou, Xianbin, Yuxin Wang, Leyang Dai, Yuhao Yang, Jinhong Du, Yongjian Wang, and Hong Wan. “Study on the corrosion and wear behaviors of cylinder liner in marine diesel engine burning low sulfur fuel oil.” *Engineering Failure Analysis* 147 (2023): 107151. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2023.107151.
4. Rao, Xiang, Chenxing Sheng, Zhiwei Guo, Chang Xu, Leyang Dai, and Chengqing Yuan. “Corrosion behaviors of cylinder liner in marine diesel engine burning low sulfur fuel oil: An experimental and molecular dynamics simulation study.” *Tribology International* 171 (2022): 107575. DOI: 10.1016/j.triboint.2022.107575.
5. Guzhenko, Ivan N., Vasily A. Chanchikov, Lama Barakat, Nina V. Pryamukhina, Ekaterina A. Strynzha, and Oleg P. Kovalev. “Studying the tribological characteristics of cylinder- piston group parts of a marine diesel engine with the accelerated tests method in lubricating medium containing laminated friction modifiers.” *Marine Intelligent Technologies* 1–4(43) (2019): 75–82.
6. Lomukhin, V.B., A. O. Tokarev, V. V. Surgin, and I. V. Lapteva. “The use of engine oil based on serpentine and soft metals in ship power installations.” *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka* 3 (2014): 136–139.
7. ND № 2–030101–009. Prilozheniya k rukovodstvu po tekhnicheskomu nablyudeniyu za sudami v ekspluatatsii. SPb.: Rossiiskii Morskoi Registr Sudokhodstva, 2022.
8. Tarasov, Maxim Igorevich, and Gennadiy Petrovich Kicha. “Kinetics of motor oil aging in marine diesel engines under continuous and periodic refill to compensate loss.” *Vestnik of Astrakhan state technical university. Series: marine engineering and technologies* 1 (2023): 7–14. DOI: 10.24143/2073-1574-2023-1-7-14.
9. Aminikhanghahi, Samaneh, and Diane J. Cook. “A survey of methods for time series change point detection.” *Knowledge and information systems* 51.2 (2017): 339–367. DOI: 10.1007/s10115-016-0987-z.
10. Obrubov, Maxim Olegovich, and Svetlana Yurievna Kirillova. “Using LSTM network for solving the multidimensional time series forecasting problem.” *National Association of Scientists* 68–2 (2021): 43–48.
11. Sobolenko, Anatoly, Valery Tarasov, and Maxim Tarasov. “Rejection indicators of motor oils — fresh one, and the one recovered in RUMS-1 unit.” *FEFU: School of Engineering Bulletin* 2(47) (2021): 29–35.
12. Bezmenov, Igor V. “Method of cleaning measurement data from outliers: search for the optimal solution with the minimum number of rejected measured data.” *Izmeritel'naya Tekhnika* 1 (2023): 16–23. DOI: 10.32446/0368-1025it.2023-1-16-23.
13. Nemetz, Sebastian, Sven Schmitt, and Felix Freiling. “A standardized corpus for SQLite database forensics.” *Digital Investigation* 24 (2018): S121–S130. DOI: 10.1016/j.diin.2018.01.015.
14. Seeling, Patrick. “Dataset for WWW landing pages webobject retrieval performance evaluation.” *Data in Brief* 30 (2020): 105429. DOI: 10.1016/j.dib.2020.105429.

15. Olimpiev, Nikita Valerievich. "Research of the using possibility of a python application for the bug tracking systems integration." *Naukosfera* 1–2 (2022): 153–158.
16. Ryu, Younghyun, Youngseo Lee, and Jeonggil Nam. "Performance and emission characteristics of additives-enhanced heavy fuel oil in large two-stroke marine diesel engine." *Fuel* 182 (2016): 850–856. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.06.029.
17. Wilton, Paul, and John W. Colby. *Beginning SQL*. Wiley Publishing, Inc., 2005.
18. RD 31.2.07–2001. Topлива, masla, smazki i spetsial'nye zhidkosti dlya sudov morskogo transporta. Nomenklatura i oblast' primeneniya. SPb.: ZAO "TsNIIMF", 2001.
19. Liu, J. S., and G. Thompson. "The multi-factor design evaluation of antenna structures by parameter profile analysis." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 210.5 (1996): 449–456. DOI: 10.1243/PIME_PROC_1996_210_142_02.
20. Glazyk, Dmitry K., and Zakhar A. Shcherban. "Analysis of the accident rate of the Russian navy in the period 2016–2021." *Scientific Journal of the Far East State Technical Fisheries University* 60.2 (2022): 49–55.
21. Obzor avariinosti s sudami na more i na vnutrennikh vodnykh putyakh Rossiiskoi Federatsii za 2022 god. Web. 1 July 2023 <<https://butc.ru/f/2022.pdf>>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мазур Екатерина Владимировна — ассистент
ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»
236041, Российская Федерация, Калининград, ул. А. Невского, 14
e-mail: ekaterina.mazur@gmail.com

Великанов Николай Леонидович — доктор технических наук, профессор
ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»
236041, Российская Федерация, Калининград, ул. А. Невского, 14
e-mail: NVelikanov@kantiana.ru

Мазур Валерия Сергеевна — аспирант
Научный руководитель:
Попадьин Константин Юрьевич — кандидат биологических наук
ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»
236041, Российская Федерация, Калининград, ул. А. Невского, 14
e-mail: valeriya.mazur@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Mazur, Ekaterina V. — Assistant
Immanuel Kant Baltic Federal University
14 A. Nevskogo Str., Kaliningrad, 236016, Russian Federation
e-mail: ekaterina.mazur@gmail.com

Velikanov, Nikolay L. — Dr. of Technical Sciences, professor
Immanuel Kant Baltic Federal University
14 A. Nevskogo Str., Kaliningrad, 236016, Russian Federation
e-mail: NVelikanov@kantiana.ru

Mazur, Valeriya S. — Postgraduate Supervisor:
Popadin, Konstantin Yu. — PhD
Immanuel Kant Baltic Federal University
14 A. Nevskogo Str., Kaliningrad, 236016, Russian Federation
e-mail: valeriya.mazur@gmail.com

Статья поступила в редакцию 9 июня 2023 г.
Received: June 9, 2023.