

На правах рукописи



БУЕВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО АУДИТА
ОБОРУДОВАНИЯ МОРСКИХ СУДОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ
ТЕРМОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Специальность: 05.22.19 – эксплуатация водного транспорта,
судовождение

Автореферат диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Мурманск – 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет" (ФГБОУ ВПО "МГТУ")

Научный руководитель: Власов Анатолий Борисович, доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Васьков Анатолий Семенович, доктор технических наук, профессор, кафедра судовождения ФГБОУ ВПО "Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова", профессор кафедры судовождения

Мухин Евгений Александрович, кандидат технических наук, ОАО "Мурманский морской торговый порт", инженер отдела комплектации

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет».

Защита диссертации состоится "25" декабря 2014 г. в 10 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 307.009.03 при ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет» по адресу: 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13, ауд. 209 А.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет» <http://www.mstu.edu.ru/>

Автореферат разослан " " ноября 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Л.Ф. Борисова

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Одним из функциональных направлений национальной морской политики Российской Федерации, определенной в Морской доктрине на период до 2020 года и Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года, является поддержание флота и прибрежно-портовой инфраструктуры на уровне, гарантирующем экономическую независимость и национальную безопасность государства.

Достижение этих целей обеспечивается высоким уровнем технической эксплуатации флота, организацией грамотного управления, качественной подготовкой плавсостава и другими факторами. Однако эксплуатационная надежность оборудования судов остаётся низкой, что подтверждается высокой аварийностью. По данным ассоциации морских страховщиков SEFOR за 2012 год произошло 823 страховых случая, связанных с выходом из строя механизмов и оборудования, ущерб от которых (без учета числа случаев, приведших к пожару) превысил 180 млн. долларов США.

Морское страхование является одним из методов уменьшения аварийных расходов судовладельца. Интерес судовладельца в отношении страхования заключается в получении страховой защиты, которая выгодна по цене и необходимому объёму покрытия, а задачей страховой компании является предоставление этой защиты по стоимости, обеспечивающей принимаемые на себя риски. При этом обе стороны заинтересованы в повышении эксплуатационной надежности судового оборудования и, тем самым, обеспечении безопасности мореплавания.

В настоящее время в России законодательно не регламентированы методы и порядок оценки технического состояния судна для целей страхования. Исходя из этого, является актуальной разработка и внедрение новых современных методов технического аудита судов с учетом существующих тенденций повышения безопасности транспорта, развития морского страхования. Применение данных методов позволит правильно оценивать риски для морского страхования, которое направлено на повышение безопасности мореплавания.

Одним из таких методов является метод количественной термографии, основанный на получении информации о пространственном и временном распределении тепловой энергии в объектах диагностирования и их ближайшем окружении путем бесконтактной регистрации оптического излучения в инфракрасном диапазоне. Применение данного метода позволяет контролировать тепловое состояние различного оборудования судна

без вывода его из работы, выявлять дефекты на ранней стадии их развития, сокращать издержки на техническое обслуживание и ремонт.

Возможности термографического анализа могут быть использованы в судовождении с целью получения дополнительного источника информации для судоводителя о навигационной обстановке, особенно в ночное время суток, а также при проведении поисково-спасательных операций на море.

Целью исследования является разработка системы термографического анализа в целях совершенствования технической эксплуатации флота и обеспечения безопасности плавания в современных условиях судоходства.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие **задачи исследования**:

1) разработка системы технического аудита оборудования морского судна на базе количественной термографии; разработка элементов системы – метода и инструкции, по которым будет производиться внедрение технического аудита судов в процесс эксплуатации флота;

2) разработка статистических методов, направленных на оценку технического состояния судового оборудования и повышения безопасности мореплавания;

3) анализ возможностей разработанной системы технического аудита судового оборудования для оценки рисков морского страхования; расчёт экономического эффекта от применения технической диагностики оборудования морского судна на базе количественной термографии.

Объектом исследования является судно, как объект водного транспорта, и его электро и теплоэнергетическое оборудование.

Предметом исследования являются элементы системы контроля технического состояния электроэнергетического и теплоэнергетического оборудования судна на основе количественной термографии.

Базовыми методологическими научными работами в области количественной термографии являются работы Вавилова В.П., Власова А.Б, в области безопасности мореплавания Снопкова В.И., Меньшикова В.И, Васькова А.С., в области надежности работы Рябина И.А., в области нестационарных тепловых процессов Лыкова А.В., в области технической эксплуатации судов работы Гаврилова В.С., Гальперина М.М., Никитина А.М., в области технической диагностики Мозгалевского А.В., Калявина В.П., в области страхования Ефимова С.Л., Шутенко В.В.

Достоверность и обоснованность результатов работы обеспечена применением сертифицированных средств измерения исследуемых параметров; применением методов математической статистики.

Научная новизна работы:

-разработана научно-обоснованная система инженерно-технического аудита судна и его оборудования на основе метода количественной термографии;

- разработан статистический метод, направленный на оценку технического состояния судового оборудования и повышения безопасности мореплавания;

- выдвинута гипотеза о возможности применения технических методов диагностики оборудования морского судна для понижения рисков морского страхования;

- предложен математический аппарат для расчёта поправочных коэффициентов для целей страхования с учетом технического состояния судна.

Практическая значимость работы. Разработанная система диагностики технического состояния морского судна на базе количественной термографии, состоящая из объектов исследования, методики обработки полученных данных, инструкции по диагностике, используется на предприятиях, что подтверждается актами внедрения.

Предложенная методика выбора поправочных коэффициентов для целей страхования, позволяющая страховщику регулировать страховой тариф используется в некоторых страховых компаниях.

Результаты диссертационной работы используются в учебном, научно-исследовательском процессах Мурманского государственного технического университета.

Реализация работы. Результаты исследования были внедрены в производственный процесс ЗАО «Мурмансельдь-2», ЗАО «Газфлот», ЗАО «Мурманская судоремонтная компания».

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены в виде докладов на международной научно-технической конференции «Наука и образование», Мурманск, 2010, 2011, 2013; международной научно-практической конференции по строительной механике корабля, посвященной памяти профессора П.Ф. Попковича, г. Санкт-Петербург, 2012, 10-ой международной практической конференции «Ключевые аспекты научной деятельности», Польша, 2014, на

промышленном часе Союза рыбопромышленников Севера, Мурманск, 2013, 2014, Международной научно-исследовательской конференции «Молодежь как импульс в техническом прогрессе, Самара-Оренбург, 2014.

Публикации. По теме диссертации Буюева С.А. опубликовано 16 научных работ (в том числе 9 - в ведущих научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ).

Основными научными положениями и результатами, выносимыми на защиту, являются:

- 1) система по контролю технического состояния морского судна на базе метода количественной термографии;
- 2) статистический метод, направленный на оценку технического состояния судового оборудования и повышения безопасности мореплавания;
- 3) методика применения технического аудита судна на базе метода количественной термографии для целей морского страхования.

Диссертация соответствует Паспорту Номенклатуры специальностей научных работников: 05.22.19 – эксплуатация водного транспорта, судовождение, п. 7 «Эксплуатация, ремонт и реконструкция основных фондов на водном транспорте».

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложений. Общий объем 152 стр., основного текста 130 стр., 56 рисунков, 22 таблицы, приложений на 22 стр., список литературы из 168 наименований. В приложение включены акты внедрения и использования результатов диссертационной работы на предприятиях, инструкция по диагностике морских судов с использованием тепловизионной техники, принятая к учёту Мурманским филиалом Российского морского регистра судоходства.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, поставлены цели и задачи, определены объект и предмет исследования, изложены научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы основные положения и результаты исследований, выносимые на защиту.

В первой главе (Проблемы определения технического состояния оборудования морского судна) рассмотрены основные методы, которые применяются для оценки технического состояния судового оборудования.

Существующие средства и методы неразрушающего контроля судового оборудования не всегда позволяют предотвращать дефекты, возни-

кающие на судовом оборудовании в ранней стадии развития. На основании этого можно сделать вывод о необходимости развития новых методов диагностирования и контроля. Одним из таких современных и перспективных методов является метод количественной термографии.

Количественная инфракрасная термография – метод анализа структуры, системы, процесса или объекта путем присвоения численных значений наблюдаемым особенностям инфракрасного изображения. Диагностирование объектов выражается в визуализации участков с повышенной температурой, сравнением температуры объектов соседних фаз, применением научно-обоснованных методик для оценки технического состояния объектов на основе количественной термографии. Задачей инфракрасной диагностики является не только выявление аварийных дефектов, но и прогнозирование состояния оборудования.

Авария приносит убытки не только судовладельцу, но и страховой компании, поэтому мы считаем, что сделанная вовремя диагностика находится в интересах и страхования, и обеспечения безопасности мореплавания.

Базовой задачей страхования является защита интересов частных компаний, государства, населения и окружающей природной среды. Морское страхование, являясь самым старейшим видом страховой услуги, находится в постоянном развитии. Связано это с тем, что морские суда постоянно совершенствуются: грузоподъемность современных контейнеровозов достигает 123 тыс. тонн, максимальная мощность двигателей превышает 110 тыс. л.с. Всё это требует развития новых подходов к оценке рисков страхования и анализу технического состояния судна.

Технический аудит морского судна необходим для определения дефектов судового оборудования и выдачи необходимых рекомендаций для их устранения. Предполагается, что для диагностики судового электрооборудования, теплоэнергетического и технологического оборудования целесообразно применять метод на основе количественной термографии, который должен быть включен в общую систему взаимодействия между судовладельцем и страховой компанией.

Во второй главе (Система термографического анализа оборудования морского судна на базе метода количественной термографии) рассматривается разработанная автором система обследования оборудования судна с использованием приемов и методов тепловизионной диагностики.

Принцип организации системы диагностики оборудования морского судна с использованием тепловизионной техники включает в себя 3 взаимосвязанных блока, замкнутых в цикл и определяющих последовательность выполняемых работ и их информативность.

Блок диагностики включает в себя проведение технического аудита оборудования судна по разработанной методике на основе количественной термографии. В блоке принятий решений производится анализ данных, полученных при тепловизионной диагностике, осуществляется оценка выявленных дефектов, прогнозируются возможности их развития и сроки восстановления. В итоге оборудованию присваивается соответствующая категория технического состояния и принимается решение о необходимости технического обслуживания и ремонта. В общей базе данных содержится информация обо всех проведённых обследованиях.

При апробации предложенной системы проведено обследование оборудования судов различного класса и назначения, в том числе барка «Седов», транспортно-буксирного судна «Десна», большого морского рыболовецкого траулера (БМРТ) «Николай Афанасьев», самоходного плавучего крана «СПК-395», рыболовецкого траулера «Альферас», спасательного буксира «Мурманрыба» и др.

Обследованы объекты судовой электро и теплоэнергетики: кабельные трассы, оборудование главного распределительно щита (ГРЩ), технологическое, теплоэнергетическое и другое оборудование.

Для примера на рис. 1 представлены фотография и термограмма трансформаторов тока, установленных на ГРЩ транспортно-буксирного судна «Десна».

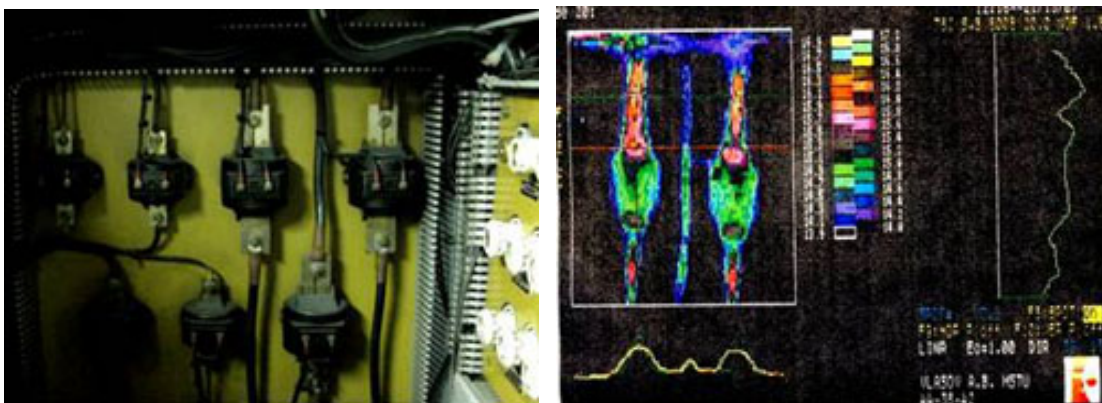


Рис. 1 Фотография и термограмма трансформаторов тока судна «Десна»

В ряде случаев температура поверхности элементов электрического оборудования достигала 60-70 °С при нагрузке, составляющей 25-30 % от номинальной (при пересчёте на номинальную нагрузку температура обо-

рудования составляла более 300 °С), что свидетельствует о повышенной электро и пожароопасности.

Анализ и предотвращение возможных пожароопасных ситуаций на судах является важным направлением в развитии безопасности мореплавания. В связи с этим рассматривается вопрос оценки возможности нагрева судовых конструкций от тепло и электроэнергетического оборудования в процессе эксплуатации.

Тепловому воздействию от переборки, нагретой в ходе развития пожара, подвергается судовое оборудование, находящееся в смежном помещении. При этом в зоне действия теплового излучения находится не только оборудование, находящееся непосредственно вблизи, но и отстоящее на некотором расстоянии от переборки, в частности, расположенное вблизи прохождения кабельных трасс, нагретых вследствие развития пожара или при протекании аварийных токов.

Нами предложено на примере испытания судового кабеля в условиях воздействия пламени применить возможности метода количественной термографии для оценки степени нагрева судовых конструкций.

Схема проведения эксперимента представлена на рис. 2. Экспериментальная установка включала: судовую кабель 1; перегородку из пено-стекла 2; сканер тепловизора 3; персональный компьютер 4. Перегородка (2) разделяла кабель на две зоны: зону горения I и зону нагрева II. В зоне I происходило горение кабеля под действием пламени от газовой горелки. Перегородка препятствовала распространению огня в зону II.

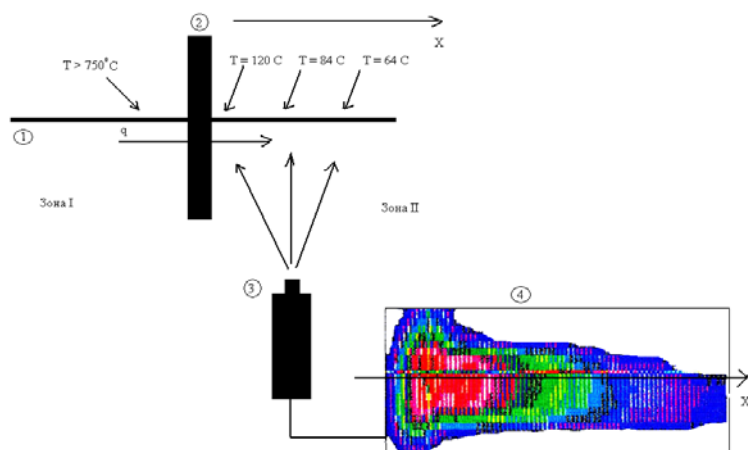


Рис. 2 Схема проведения эксперимента

С момента возгорания кабеля тепловой поток с определенной скоростью распространяется из зоны I в зону II, где температура в каждом сечении кабеля со временем возрастает. Значения температуры поверхности кабеля определяются по данным тепловизионных измерений.

Для определения теплофизических характеристик в процессе распространения теплового потока могут быть реализованы два режима испытаний: режим постоянной мощности и режим постоянной температуры.

В общем случае теоретически поставленная задача описывается уравнениями нестационарной теплопроводности (Лыков А.В.):

$$\frac{\delta T(x, \tau)}{\delta \tau} = a \frac{\delta^2 T(x, \tau)}{\delta x^2} \quad (\tau > 0; 0 < x < \infty); \quad (1)$$

при краевых условиях

$$T(x, 0) = T_o = const; \quad (2)$$

$$\frac{\delta T(\infty, \tau)}{\delta x} = 0 \quad \lambda \frac{\delta T(0, \tau)}{\delta x} + q_n = 0; \quad (3)$$

$$T(\infty, \tau) = T_o, \quad \frac{\delta T(\infty, \tau)}{\delta x} = 0, \quad (4)$$

где a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; x – координата сечения, м ; τ – время, с ; T – температура, $^{\circ}\text{C}$; λ – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$; q_n – тепловой поток, $\text{Вт}/\text{м}^2$; T_o – температура среды, $^{\circ}\text{C}$.

С точки зрения теории теплопроводности поставленная задача относится к классу задач с граничными условиями второго рода. Применяя уравнения нестационарной теплопроводности (1-4) к условиям задачи с нагревом судового кабеля от пламени газовой горелки, получим следующие выражения:

$$\Delta T(x, \tau) = \frac{q_n}{\lambda} \int_0^{\infty} \text{erfc} \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} dx = \frac{2q_n}{\lambda} \sqrt{a\tau} \text{ierfc}(u), \quad (5)$$

где

$$\text{ierfc}u = \int_u^{\infty} \text{erfc}W dW = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} - u(1 - \text{erfc}u) \quad (6)$$

и

$$\text{erfc}u = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-u^2} du \quad (7)$$

$$\Theta = \frac{T(x, \tau) - T(x, 0)}{T(0, \tau) - T(0, 0)} = \frac{T(x, \tau) - T_o}{T(0, \tau) - T_o} = \frac{\Delta T(x, \tau)}{\Delta T(0, \tau)} \quad (8)$$

Соотношение (8) является относительной избыточной температурой, значение которой используется для решения теплофизических задач.

Для анализа скорости изменения температуры вдоль кабеля регистрировалась температура поверхностного слоя кабеля ($X = 0$) и слоя с координатой $X = X_0$. Решение уравнения (9) позволяет рассчитать коэффициент

температуропроводности a и коэффициент теплопроводности λ при использовании неявных функций:

$$\frac{\Delta T(X_0, \tau)}{\Delta T(0, \tau)} = 2\sqrt{\pi} \operatorname{ierf} \left(\frac{1}{2\sqrt{a\tau / X^2}} \right). \quad (9)$$

В ходе эксперимента в память ЭВМ записываются термограммы в разные моменты времени (рис. 3). В последующем они доступны для анализа распространения теплового фронта в кабеле и снятия показаний температуры в контрольных точках.

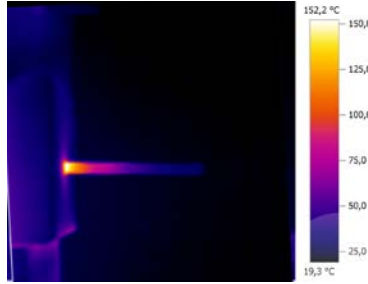


Рис. 3 Термограмма кабеля в момент времени $\tau = 2427$ с

Возникающее интенсивное тепловое излучение кабеля может воздействовать на горючие материалы и оборудование, расположенные непосредственно рядом с кабелем или в близости от него, что может привести к повреждениям, выходу из строя оборудования и возникновению пожара.

На примере судового кабеля было проведено моделирование процесса нагрева кабеля в программном комплексе ELCUT. Для этого была задана геометрическая модель эксперимента и начальные условия (рис. 4, а).

Со временем температура вдоль кабеля и деревянного объекта повышается, что фактически приводит к воспламенению дерева, так как его температура достигает 500 К (рис. 4, б).

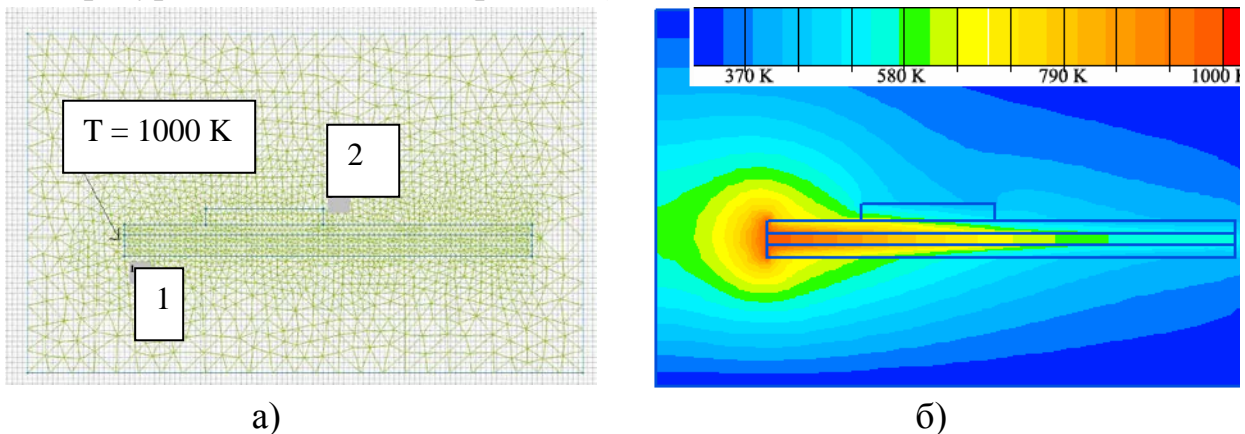


Рис. 4 Геометрическая и тепловая модели кабеля

1 – судового кабеля, 2 – объект из дерева

Рассмотрены вопросы о возможности применения тепловизора в навигации для помощи судоводителю при плавании в ночное время суток, а также при проведении поисково-спасительных операций.

В связи с тем, что использование тепловизора во время поисково-спасательных операций может существенно увеличить вероятность обнаружения людей, считаем целесообразным при производстве спасательных шлюпок, гидрокостюмов и спасательных жилетов предусмотреть на них отдельные участки, которые будут выполнены из специальных материалов, обладающих высоким коэффициентом излучательности. С этой же целью в гидрокостюмы можно внедрять специальные нагревательные элементы, которые будут распространять инфракрасное излучение, для их лучшего обнаружения с помощью тепловизионной техники.

В третьей главе (Статистические методы определения эксплуатационных показателей надежности электрооборудования морских судов по данным тепловизионной диагностики) рассмотрена методика статистического анализа данных, полученных в ходе инфракрасной диагностики оборудования морских судов, с целью определения эксплуатационной надежности на примере контактных соединений различных ГРЩ.

В таблице 1 приведены статистические данные, полученные в процессе проведения тепловизионной диагностики контактных соединений на различных морских судах.

Таблица 1

Сведения по контактным соединениям на обследованных судах

Параметр	Объект		
	I	II	III
Уровень напряжения, В	380	380	380
Общее количество КС на ГРЩ	402	400	430
Верхняя граница вероятности повреждений Q_B	0,007462	0,0175	0,004651
Нижняя граница вероятности безотказной работы R_H	0,992537	0,9825	0,995349
Средний параметр потока повреждений ω_{cp} , год ⁻¹	0,022	0,023	0,007

I – транспортно-буксирное судно «ДЕСНА», ООО «Газфлот», II – самоходный плавучий кран «СПК 395», ЗАО «Мурманская судоремонтная компания», III – траулер «Альферас», ЗАО «Мурмансельдь-2».

На рис. 5 приведена зависимость вероятности безотказной работы $R^*(\tau)$ контактных соединений на объекте II.

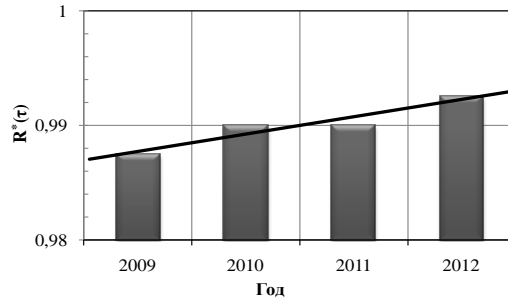


Рис. 5 График $R^*(\tau)$ контактных соединений на «СПК 395»

При анализе характеристик надёжности рассчитывается вероятность повреждения $Q(\tau, \Delta\tau)$ за промежуток времени $[\tau, \tau + \Delta\tau]$. Для оценки вероятности появления повреждений используется метод доверительных интервалов.

Интервальные границы Q_H и Q_B определяются по формулам:

$$Q_B \approx \frac{x[100(1-P)\%, 2(n+1)]}{2N - n + 1 + 0,5x[100(1-P)\%, 2(n+1)]}; \quad (10)$$

$$Q_H \approx \frac{x[100P\%, 2n]}{2N - n + 1 + 0,5x[100P\%, 2n]}; \quad (11)$$

где $x = f(Q, 2a)$ – Q -процентная точка χ^2 -распределения с $\nu = 2a$ степенями свободы.

Доверительные границы вероятности повреждения вычисляются на основе оценки биномиального распределения с помощью приближенной формулы Пуассона из уравнений:

$$Q_B \approx \frac{x[100(1-P)\%, 2(n+1)]}{2N}; \quad (12)$$

$$Q_H \approx \frac{x[100P\%, 2n]}{2N}, \quad (13)$$

в которых числитель определяется, как и в формулах (10) и (11).

Для расчета доверительного интервала без применения статистических таблиц используется формула Муавра-Лапласа:

$$Q_B \approx \frac{2n + 1 + z_{\delta_1}^2 + \sqrt{z_{\delta_1}^4 + \left(4n - \frac{4n^2}{N} + 2 - \frac{4n}{N} - \frac{1}{N}\right) z_{\delta_1}^2}}{2(N + z_{\delta_1}^2)}; \quad (14)$$

$$Q_H \approx \frac{2n + 1 + z_{\delta_1}^2 - \sqrt{z_{\delta_1}^4 + \left(4n - \frac{4n^2}{N} + 2 - \frac{4n}{N} - \frac{1}{N}\right) z_{\delta_1}^2}}{2(N + z_{\delta_1}^2)}, \quad (15)$$

где $z_{\delta_1} = \Phi^{-1}(\delta_1)$ – аргумент функции нормального распределения, при котором функция нормального распределения $\Phi(\delta_1) = \delta_1$.

Рассчитана вероятность безотказной работы контактных соединений на ГРЩ рыболовецкого траулера «Альферас» $R^*(\tau)=0,995349$ при точечной вероятности повреждения $Q^*(\tau)=0,004651$. Для крайних пределов вероятности повреждения вычислены: $Q^*_в=0,014$; $R^*_н=0,986$; $Q^*_н=0,001$; $R^*_в=0,999$. Таким образом, истинная вероятность повреждения контактных соединений в течение 2012 г. с коэффициентом доверия 0,95 накрывается интервалом $J_{0,95} = [0,001;0,014]$ или $P\{0,986 < R^* < 0,999\} \geq 0,95$.

С целью оценки роли разнообразных факторов на показатели надежности судового оборудования был проведен экспертно-факторный анализ вопросов надежности судового оборудования компаний Северо-Запада России.

Входные значения логико-лингвистических переменных определялись знаниями экспертов, в качестве которых выступали работники компаний Северо-Запада РФ в должностях главного инженера, технического директора и других.

Данные, полученные в ходе экспертного опроса, обрабатывались посредством логико-лингвистического анализа на основе экспертно-факторной методики. Результаты опроса были распределены в матрице рангов, для каждого из k -факторов в матрице рангов указывается значение a_{ij} , занимаемое им в анкете эксперта. Согласованность мнений экспертов оценивается коэффициентом конкордации (согласованности) W , рассчитываемым по соотношению:

$$W = 12 H / [n^2(k^3 - k)], \quad (16)$$

где H определяется как, сумма квадратов абсолютных значений отклонения:

$$H = \sum (\sum a_{ij} / n - \sum a_{ij})^2 = 757 \quad (17)$$

Значение коэффициента конкордации при 6 факторах и 9 экспертах: $W = 12 \times 757 / [9^2(6^3 - 6)] = 0,53$. Вычислим расчетное значение критерия Пирсона: $\chi^2 = n(k-1)W = 24,03$. На уровне значимости $\alpha = 0,05$ табличное значение критерия Пирсона (при числе степеней свободы $f = 5$) $\chi^2_{\text{табл}} = 11,1$.

Поскольку $\chi^2_{\text{расч}} > \chi^2_{\text{табл}}$, то гипотеза о высокой степени согласованности мнений экспертов принимается.

Гистограмма результатов ранжирования представлена на рис. 6. Монотонность изменения значимости факторов по сумме рангов нарушается после фактора IV. Поэтому фактор V (климатические условия плавания) отнесен к менее значимым.

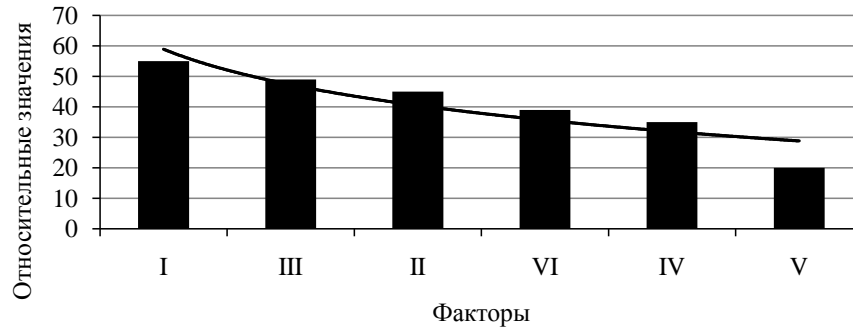


Рис. 6. Гистограмма ранжирования факторов

Таким образом, по мнению экспертов, к факторам, влияющим на показатели надежности, относятся: качество изготовления и монтажа (I), квалификация обслуживающего персонала (II), срок эксплуатации (III), механические воздействия (IV), режимы работы электрооборудования (VI).

После обработки логико-лингвистических переменных, связанных с внедрением метода тепловизионной диагностики на судах рыбопромыслового флота, было установлено, что более 67 % экспертов высказались в пользу внедрения тепловизионной диагностики на судах.

В четвёртой главе (Применение технического аудита морских судов на базе метода количественной термографии для целей страхования) рассмотрены вопросы, связанные с проблемами морского страхования.

Пожары на судах в 2012 г. при 34 случаях принесли убытков более чем на 107 млн. долларов США. Одним из факторов, повлиявших на увеличение числа пожаров на морских судах за последние два десятилетия, явился, прежде всего, рост энерговооруженности судов и протяженности кабельных трасс. Убытки – пожар, простой судна, упущенная выгода и др., которые могут возникать в результате выхода из строя оборудования, наталкивают судовладельца на защиту от таких рисков посредством страхования.

В результате исследования нами разработан экономически-выгодный метод диагностики оборудования судна на базе количественной термографии, который позволяет решать специфические задачи в области технической эксплуатации флота.

Разрозненность компаний и малочисленность их судов не дает возможность на приобретение дорогостоящей универсальной тепловизионной аппаратуры для диагностики и обучение квалифицированного персонала. Указанное обстоятельство указывает на то, что перспективным является создание региональных научно-технических лабораторий термографического контроля состояния и анализа надежности оборудования морских

судов. Основные функции данной лаборатории должны состоять в непрерывной периодической диагностике оборудования морских судов и проведении предстраховых осмотров.

Полное освидетельствование по предлагаемой методике при обычных обстоятельствах занимает полный рабочий день, не учитывая время обработки результатов и подготовки отчетных документов. Результатом предстрахового осмотра является экспертное заключение о техническом состоянии элементов тепло и электрооборудования судна, на основании которого страховая компания делает вывод об уровне риска.

Разработана таблица категорий уровня риска. Минимальному значению риска 1 может соответствовать тарифная ставка в размере 1,5 % от стоимости судна, максимальному значению уровня риска 3, при котором судно принимается на страхование, соответствует тарифная ставка в размере 3,5%. При значении уровня риска 4 рекомендуется не страховать данное судно.

В качестве примера, для определения экономического эффекта от применения термографической диагностики, мы воспользовались методикой определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений.

Расчёт производится на основе сопоставления приведенного ущерба до внедрения системы термографической диагностики и после её внедрения по следующему соотношению:

$$E(t) = D \cdot P_1(F) - D \cdot P_2(F) - IR_{diag}, \quad (18)$$

где D – полный ущерб (руб.), $P_1(F)$ – вероятность ущерба до применения системы на судне, $P_2(F)$ – вероятность ущерба после внедрения системы на судне, IR_{diag} – стоимость тепловизионного обследования.

Вероятность возникновения страхового случая (ущерба) определяется из ежегодного статистического отчёта Центрального союза морских страховщиков CEFOR. Полный ущерб D (руб.) складывается из следующих составляющих: стоимость восстановления выгоревших помещений и оборудования, стоимость простоя судна и упущенная выгода:

$$D = D_{mat} + P(t) + L(t), \quad (19)$$

где D_{mat} – ущерб, нанесенный судну (руб.), $P(t)$ – простой судна (руб.), $L(t)$ – упущенная выгода (руб.), t – время, затраченное на ремонт судна.

Ущерб, который был причинен судну в результате пожара, зависит от стоимости судна, площади пожара и типа пострадавших помещений судна.

Относительная площадь пожара находится по формуле:

$$s^* = S_{\text{пом}} / S_{\text{судна}}, \quad (20)$$

где s^* – относительная площадь пожара, $S_{\text{пом}}$ – площадь, выгоревших помещений, м^2 , $S_{\text{судна}}$ – площадь судна, м^2 .

В зависимости от назначения и значимости помещения на судне, выбирается значение коэффициента m (максимальное значение коэффициента m для машинного отделения и рыбообрабатывающей фабрики, минимальное для пустого трюма). Относительная выгоревшая часть v^* – это величина, характеризующая общую площадь выгоревших помещений и их значимость, и определяется по формуле:

$$v^* = \sum_{i=1}^k m_i \cdot s_i^*. \quad (21)$$

Учитывая изложенные факторы, причиненный ущерб судну D_{mat} определяется по формуле:

$$D_{\text{mat}} = C \cdot v^*, \quad (22)$$

где C – рыночная стоимость судна на момент принятия на страхование.

Определим параметр t по формуле:

$$t = f(v^*). \quad (23)$$

Предлагаем считать простой судна по соотношению между временем, затраченным на ремонт t , и водоизмещением судна V :

$$P(t) = f(t, V). \quad (24)$$

Упущенная выгода зависит от типа судна, его производительности и времени потраченного на ремонт, определяется по соотношению:

$$L(t) = f(t, V, k, o), \quad (25)$$

где k – тип судна, o – производительность судна в день.

Стоимость испытаний с использованием тепловизионной диагностики IR_{diag} зависит от типа и возраста судна, его водоизмещения и энерговооруженности и в среднем составляет около 80 тыс. рублей.

Для примера по соотношению (18) был рассчитан экономический эффект от применения термографической диагностики в случае условного пожара на СРТМ (средний рыболовный траулер морозильный) 1999 года выпуска. Экономический эффект составил 1,6 млн. рублей в год.

Заключение

1. Разработана система технической диагностики оборудования морского судна на базе метода количественной термографии. Указанная система позволяет уменьшить для судовых компаний количество эксплуатационных затрат, капиталовложений и убытков.

2. Представлен метод оценки воздействия оборудования, нагретого вследствие развития пожара или при протекании аварийных токов, на близлежащие судовые конструкции и устройства в целях электробезопасности и предупреждения пожаров.

3. Разработан статистический метод расчета данных тепловизионной диагностики, направленный на оценку технического состояния судового оборудования и повышения безопасности мореплавания. Рассчитанная вероятность повреждения контактных соединений на ГРЩ составляет $P\{0,986 < R^* < 0,999\} \geq 0,95$.

4. Разработана методика технического аудита судна на базе метода количественной термографии для целей страхования, которая наряду с существующими методами может применяться для оценки рисков страхования.

5. Годовой экономический эффект от применения системы термографической диагностики для судна составляет 1,6 млн. рублей.

6. Результаты исследования направлены на создание региональных научно-технических лабораторий термографического контроля состояния и анализа надежности оборудования морских судов.

Публикации

Статьи, опубликованные в журналах из перечня ВАК

1. Буев, С. А. Оценка технического состояния электрооборудования судов и береговой инфраструктуры методом тепловизионной диагностики / А. Б. Власов, С. А. Буев // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – № 1. – С. 276-279.

2. Буев, С. А. Техническая диагностика как метод оценки риска морского страхования / С. А. Буев // Бюллетень транспортной информации. – 2012. – № 4. – С. 34-36.

3. Буев, С. А. Риски мореплавания и морское страхование / С. А. Буев // Мир транспорта. – 2012. – № 4. – С. 154-157.

4. Буев, С. А. Оценка показателей надежности корабельного электрооборудования, их влияние на безопасность мореплавания и вероятность страховых рисков / А. Б. Власов, С. А. Буев // Вестник МГТУ. – 2013. – № 4. – С. 672-680.

5. Буев, С. А. Результаты опроса экспертов рыболовных компаний по вопросам надежности электрооборудования и внедрения метода термографической диагностики / А. Б. Власов, С. А. Буев // Рыбное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 88-90.

6. Буев, С. А. Логико-лингвистический анализ априорной информации о надежности электрооборудования судов на основе экспертно-факторной методики / А. Б. Власов, С. А. Буев // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2013. – № 2. С. 16-20.

7. Буев, С. А. Анализ надежности электрооборудования судов рыбо-ловческих компаний Северо-Запада / А. Б. Власов, С. А. Буев // Вестник МГТУ. – 2013. – № 4. – С. 663-671.

8. Буев, С. А. Термографические испытания судового кабеля под воздействием пламени / А. Б. Власов, С. А. Буев // Судостроение. – 2014. – № 1. – С. 42 - 44.

9. Буев, С. А. Определение коэффициента температуропроводности судового кабеля под воздействием пламени / А. Б. Власов, С. А. Буев // Бюллетень транспортной информации. – 2014. – № 2. – С. 31 - 32.

В других изданиях

10. Буев, С. А. Оценка технического состояния электрооборудования судов и береговой инфраструктуры методом тепловизионной диагностики/ С. А. Буев // Материалы международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2010». – С. 1380 – 1383.

11. Буев, С. А. Оценка технического состояния электрооборудования судов методом тепловизионной диагностики / С. А. Буев, В. И. Кривенко // Международный журнал экспериментального образования. – 2010. – № 8. – С. 139-140.

12. Буев, С. А. Проблемные вопросы тепловизионной диагностики при оценке безопасности морского транспорта / Б. Д. Царев, С. А. Буев // Материалы международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2011». – С. 1044 – 1048.

13. Буев, С. А. Техническая диагностика оборудования морских судов с использованием тепловизионной техники как метод оценки риска морского страхования / С. А. Буев // Доклады конференции по строительной механике корабля, посвящённая памяти профессора П.Ф. Попковича / ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2012. – С. 76-77.

14. Буев, С. А. Оценка показателей надежности корабельного электрооборудования, их влияние на безопасность мореплавания и вероятность страховых рисков / А. Б. Власов, С. А. Буев // Материалы международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2013». – С. 17 – 20.

15. Буев, С. А. Технический аудит судов на базе метода количест-

венной термографии для целей страхования / А. Б. Власов, С. А. Буев // Материалы X Международной практической конференции «Ключевые аспекты научной деятельности» / Наука и образование. – *Przemysl, Poland*, 2014. – С. 55 – 57.

16. Буев, С. А. Определение коэффициента температуропроводности судового кабеля на основе метода количественной термографии / А. Б. Власов, С. А. Буев // Материалы Международной научно-исследовательской конференции «Молодежь как импульс в техническом прогрессе» / Самара – Оренбург: СамГУПС, 2014. – С. 391-393.