

УДК 629.123 : 681.518.5

Анализ надёжности электрооборудования судов рыболовецких компаний Северо-Запада

А.Б. Власов, С.А. Буев

Морская академия МГТУ, кафедра электрооборудования судов

Аннотация. Проведён опрос экспертов рыболовецких компаний Северо-Запада России, в ходе которого оценивались различные показатели надёжности электрооборудования морских судов. На основе этих данных произведён логико-лингвистический анализ с помощью экспертно-факторной методики. Определены основные факторы, влияющие на надёжность электрооборудования судов. Предложено создание специализированных научно-технических лабораторий для периодического осуществления термографической диагностики оборудования судов рыболовецкого флота.

Abstract. Inquiry among experts of North-West fishery companies has been conducted to gather information about different reliability indicators of ship's electrical equipment. Using this information logic-linguistic analysis on the base of expert-factor's method has been made. The main factors influencing reliability of ship electrical equipment operation have been defined. The authors have proposed the creation of specialized scientific-technical laboratories for periodic IR-diagnostics of ship electrical equipment.

Ключевые слова: термография, тепловизионная диагностика, надёжность, эксперт, морские суда, электрооборудование, страховые случаи, эффективность, безопасность, отказы оборудования, рыболовецкие компании

Key words: thermography, IR-diagnostics, reliability, expert, vessels, electrical equipment, insurance cases, efficiency, safety, failures, fishery companies

1. Введение

Техническое обслуживание и ремонт электрооборудования судов рыболовецких компаний как неотъемлемой составляющей рыбохозяйственного комплекса осуществляется на основе систем контроля технического состояния: "Правила эксплуатации судового электрооборудования", "Правила классификационных освидетельствований судов в эксплуатации Российского морского регистра судоходства", РД 34.45-51.300-97 "Объём и нормы испытаний электрооборудования", "Правила устройства электроустановок", "Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации" и т.д. В представленных документах изложены организационные и технические требования по обслуживанию и ремонту электрооборудования, приведены периодичность, объёмы и регламент испытаний, рассмотрены общие указания по устройству электроустановок и т.д.

В то же время планово-предупредительные ремонтные работы не позволяют предотвращать дефекты электрооборудования, электрических сетей и т.п. на ранней стадии развития.

Проблемы повышения надёжности электрооборудования морских судов являются актуальными с учётом значительного срока их службы, напряжённого технологического цикла, повышенных требований безопасности.

Анализ показателей надёжности и статистическая обработка данных дефектов, зафиксированных в процессе эксплуатации электрооборудования морских судов, показывает, что поток отказов различных элементов электрооборудования значителен в связи с износом и превышением плановых сроков эксплуатации.

С целью оценки влияния разнообразных факторов на показатели надёжности произведено моделирование в рамках теории нечётких множеств с применением логико-лингвистического анализа при описании воздействия возможных производственных факторов. Подобное моделирование предполагает процедуру экспертно-факторной методики, в процессе которой, аналогично (Власов, 2002а), применяется метод ранговой корреляции для выявления факторов, оказывающих наибольшее влияние на значение потока повреждений на объектах.

Входные значения логико-лингвистических переменных определяются известными знаниями экспертов в области реальной эксплуатации, исследований и оценки надёжности, особенностей конструкции, свойств материалов, ответственных за износ и старение аппаратов на морских судах. Экспертами выступали главные инженеры, технические директора, групповые электромеханики и другие работники компаний Северо-Запада РФ.

Для экспертной оценки были предложены вопросы, решение которых, как представляется, с одной стороны, должно способствовать выявлению причин, уменьшающих показатели надёжности, с другой – разработке рекомендаций для повышения этих показателей.

Для подготовки результирующего отчёта были выбраны анкеты экспертов 10 рыболовецких компаний, эксплуатирующих морские суда различного срока службы и водоизмещения.

2. Общие показатели

На рис. 1а представлена диаграмма распределения количества судов в опрошенных компаниях; видно, что 40 % компаний эксплуатирует по 2-4 судна, 30 % – 1 судно и 30 % – более 5 судов.

Около 70 % рыболовных компаний СЗ РФ эксплуатируют от 1 до 4 судов (рис. 1б). Только 30 % компаний имеют более 5 судов для производственной деятельности.

Естественно, что компаниям с незначительным количеством судов экономически нецелесообразно иметь в штате службы и структуры, которые ответственны за контроль состояния электрооборудования, распространение передового опыта, внедрение новых методов диагностики.

На рис. 2 представлены данные по водоизмещению и срокам эксплуатации судов компаний, принявших участие в опросе.

В общей сложности, суда старше 20 лет составляют более 72 % от числа всех судов. Это подтверждает тот факт, что компаниями, в основном, эксплуатируются суда, построенные на отечественных или зарубежных верфях до 1990 года.

Оборудование на устаревших судах имеет низкие показатели надёжности, что оказывает влияние на безопасность мореплавания и эффективность промысловой работы.

Несмотря на периодические обновления и капитальные ремонты, средний срок службы электрооборудования, установленного на данных рыбопромысловых судах, достаточно велик (рис. 3).

Около 90 % всего электрооборудования старше 15 лет, что обусловлено, прежде всего, сроком эксплуатации судов и низким темпом обновления оборудования. При этом экономическая целесообразность и практическая реальность не способствуют замене устаревшего оборудования в ближайшие годы.

В этих условиях внедрение новых систем диагностирования электрооборудования становится не только задачей поддержания его работоспособности, но и задачей поддержания на должном уровне безопасности мореплавания в целом.

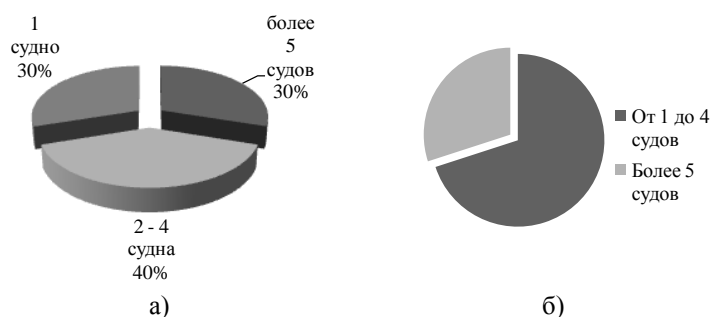


Рис. 1. Распределение количества судов в компаниях

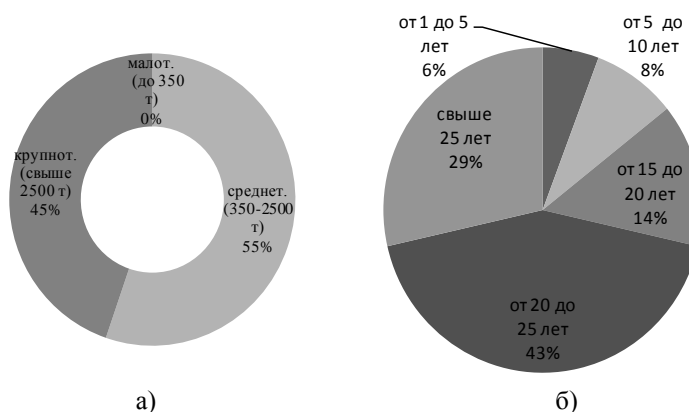


Рис. 2. Водоизмещение и сроки эксплуатации судов

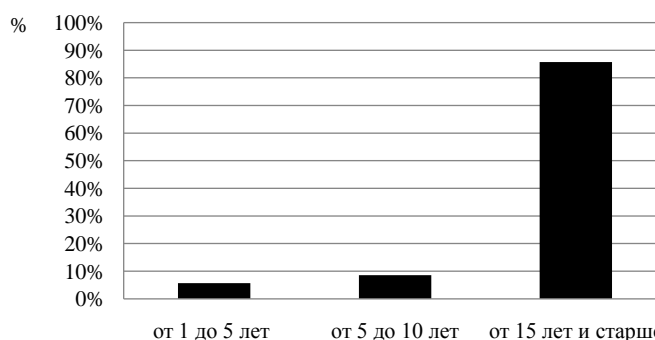


Рис. 3. Средний срок службы электрооборудования на промысловых судах

Решая эти задачи, необходимо установить факт соответствия или несоответствия оборудования на борту неким формальным признакам, своевременно выявить признаки ускоренного старения и провести комплекс мероприятий, позволяющих продлить ресурс электрооборудования на определённый срок.

3. Распределение дефектов по узлам электрического оборудования судов

3.1. Дефекты оборудования

Представляет интерес анализ данных о накоплении дефектов на различных узлах электрооборудования. Вероятность возникновения разнообразных дефектов в течение года на электрооборудовании судов представлена на рис. 4.



Рис. 4. Вероятность возникновения дефекта на оборудовании судна в течение года

Как видно из диаграммы (рис. 4), наибольшая вероятность (34 %) возникновения дефектов характерна для электродвигателей, пускорегулирующей аппаратуры, элементов защиты и т.п. Для всего электрооборудования вероятность – выше 10 %, для понижения этого показателя необходимо производить более точную диагностику, которая позволит выявлять дефекты на ранних стадиях развития.

3.2. Аварийные дефекты

В стандартах (ГОСТ 27.002-89, ГОСТ 15476-79) даны понятия, термины и определения, такие как дефект, повреждение, отказы, их качественные и количественные характеристики с точки зрения параметров надёжности. В частности, дефекты могут быть явными, скрытыми, критическими в зависимости от оценки их влияния на эффективность и безопасность использования объекта с учётом его назначения, устройства, режимов и условий эксплуатации.

С этой точки зрения, наиболее опасными для эксплуатации являются дефекты, относящиеся к критическим (аварийным), влияющим не только на технологический цикл, но и жизнедеятельность морских судов.

На рис. 5 представлены усреднённые данные по дефектам, которые экспертами отнесены к аварийным. При этом аварийные дефекты вероятнее всего возникают на генераторах и кабельной сети.

Очевидно, что подобные дефекты непосредственно связаны с пожароопасностью судов, нарушением технологического цикла, безопасностью мореплавания.

Близкая к нулю (0,01 %) вероятность возникновения аварийных дефектов на распределительных щитах связана с ежедневным осмотром и визуальной доступностью большинства комплектующих этих устройств.

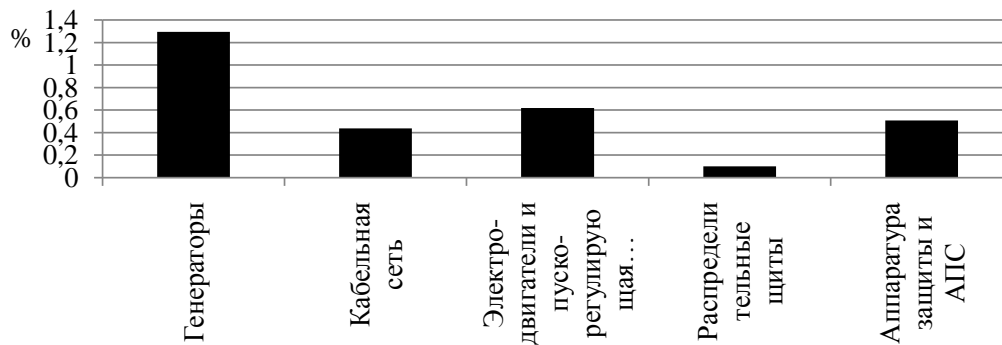


Рис. 5. Вероятность возникновения аварийного дефекта

3.3. Выявление и устранение дефектов

Для оценки квалификации персонала, способного не только диагностировать дефекты, но и устранять их в процессе эксплуатации, экспертам предлагалось оценить процент дефектов, устраняемых 1) силами экипажа, 2) с привлечением сторонних специалистов.

На рис. 6 представлена диаграмма, полученная по результатам обработки данных. Основное обнаруженное количество дефектов (до 50 %) устраняется силами экипажа (кабельная сеть, распределительные щиты, аппаратура защиты и АПС). Примерно одинаковое количество дефектов на электродвигателях, пускорегулирующей аппаратуре и генераторах устраняются как экипажем, так и сторонними специалистами.

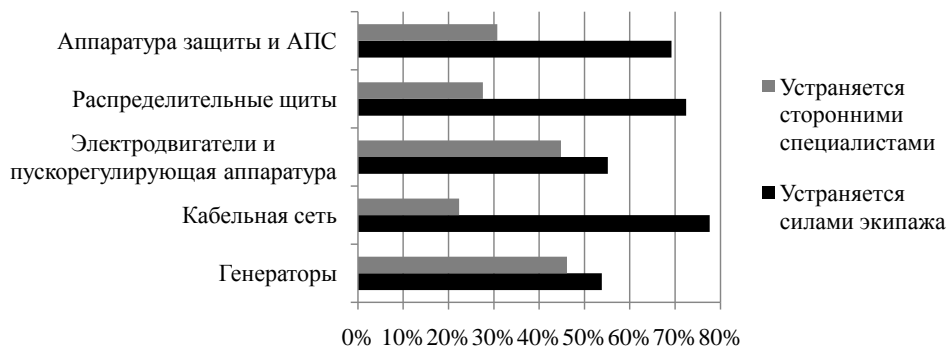


Рис. 6. Возможность устранения дефектов

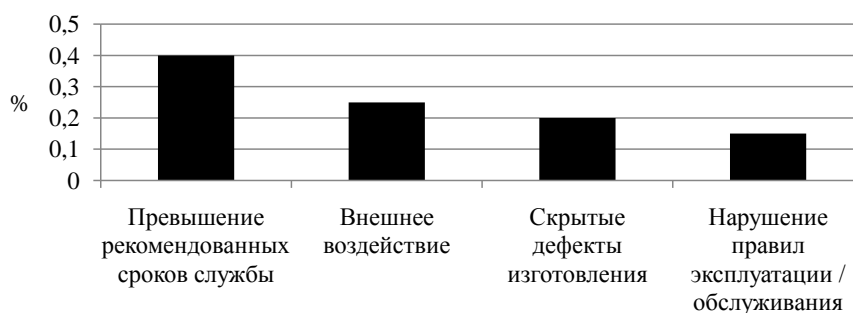


Рис. 7. Причины возникновения дефектов на судах, эксплуатируемых более 25 лет

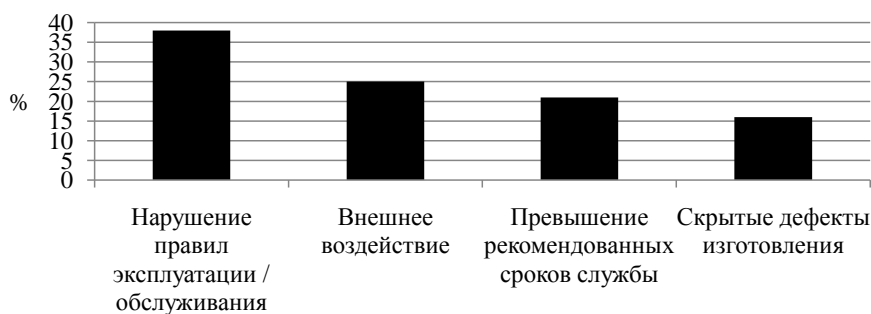


Рис. 8. Причины возникновения дефектов на судах, эксплуатируемых менее 25 лет

С одной стороны, это свидетельствует о том, что своевременный контроль, выполненный с привлечением современных средств оперативной диагностики, имеет значительные перспективы в части повышения надёжной эксплуатации электрооборудования и безопасного мореплавания.

С другой стороны, значительная часть дефектов не может быть устранена в период промысла, что увеличивает производственные потери и страховые риски.

Практика эксплуатации электрооборудования судов позволяет выявить наиболее важные причины, приводящие к уменьшению надёжности, возникновению дефектов. По нашему мнению, к

подобным причинам относятся: нарушение правил эксплуатации и обслуживания, внешнее воздействие, скрытые дефекты изготовления, превышение рекомендованных сроков службы.

При анализе ответов учтены мнения экспертов, в ведении которых находятся суда старше 25 лет эксплуатации (рис. 7) и эксплуатирующих суда моложе 25 лет (рис. 8).

3.4. Факторы, влияющие на надёжность работы электрооборудования

Предварительный анализ и обсуждение с экспертами позволили выявить ряд факторов, влияющих на надёжность работы электрооборудования (табл. 1). Именно эта совокупность факторов была предложена экспертам для дальнейшего анализа; из составленного перечня эксперты выбирали факторы в порядке убывания степени их влияния на параметры надёжности электрооборудования.

Результаты опроса представлены в матрице рангов (табл. 2), где для каждого фактора указывается место, на которое его поставил эксперт в своей анкете.

Таблица 1

№	Фактор (краткое описание)
I	Качество изготовления и монтажа Состав судов рыбной промышленности Северо-Запада РФ разнообразен по странам постройки судна и по производителю оборудования, которым укомплектовано судно. На многих судах эксплуатируется оборудование производства СССР, а выходящие из строя элементы заменяются в основном на современные аналоги иностранного производства. При этом монтаж оборудования производится местными специалистами. Данный фактор позволяет оценить, как влияет качество изготовления и монтажа на надёжность электрооборудования
II	Срок эксплуатации После длительной эксплуатации на состояние электрооборудования начинает сказываться старение, причиной которого являются физико-механические процессы, происходящие в элементах электрооборудования в течение всего срока службы. Аппаратура чаще отказывает. Например, у переменных резисторов, щеток электрических машин старение заключается в изменении сопротивления проводящего слоя и его стирания; монтажные провода приходят в негодность из-за высыхания и растрескивания изоляции. Механические и электромеханические элементы и узлы больше подвергаются износу, чем старению (редукторы, сельсины, реле, подшипники и т.д.)
III	Квалификация обслуживающего персонала Для рыболовной отрасли присущи определенная специфика и тенденции. Во-первых, недостаточная подготовка специалистов-электромехаников. На некоторых судах не предусмотрена должность электромеханика, его обязанности выполняется судовым механиком. Высказываются мнения, что подготовка электромехаников ранее была более эффективной. Во-вторых, на многих судах во время промысла экипаж задействован для обработки рыбы, и зачастую электромеханикам недостаточно времени для выполнения своих прямых должностных обязанностей
IV	Механические воздействия, вибрация, условия эксплуатации Удары и вибрации в процессе эксплуатации могут привести к нарушению целостности паяк, контактов, разрушению электронных ламп, крепёжных деталей. Наиболее опасными являются вибрации с частотами от 15 до 150 Гц, которым соответствует возникновение резонансных явлений в конструкциях аппаратуры. Вибрации частотой от 175 до 500 Гц возникают от резонансных явлений в электронных лампах и приводят к разрушению спаяк металла и стекла
V	Климатические условия плавания Районы промысла компаний, принявших участие в опросе: Баренцево море, Шпицбергенская банка, Фарерско-Шетландский желоб в Норвежском море, море Ирмингера, банка Рокколл, банка Поркьюпайн, зона Марокко, зона Мавритании, Южно-Антильский хребет. Климатические условия в названных районах промысла кардинально отличаются друг от друга. Анализ данного фактора позволяет установить, на сколько климатические условия плавания влияют на надёжность электрооборудования
VI	Режимы работы электрооборудования Режим работы оказывает существенное влияние на надёжность элементов, узлов и всего электрооборудования в целом. Уменьшение нагрузок способствует увеличению надёжности. Режим работы оценивается коэффициентом нагрузки $K_n = H_p / H_0$ (где H_p – рабочая нагрузка, H_0 – номинальная нагрузка). Работа оборудования при предельно допустимых нагрузках сокращает срок их службы и не гарантирует надёжной работы. Коэффициент нагрузки для электротехнических средств составляет 0,4-0,6, а для особо важной аппаратуры – 0,1. В процессе эксплуатации необходимо следить за тем, чтобы аппаратура не работала при максимальной нагрузке

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:

$$W = 12H / [n^2(k^3 - k)], \quad (1)$$

где H определяется как сумма квадратов абсолютных значений отклонения:

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

Таблица 2. Матрица рангов

Эксперты (от 1 до n)	Факторы, X_{ij}					
	I	II	III	IV	V	VI
1	1	2	3	5	6	4
2	4	3	1	5	6	2
3	1	5	2	4	6	3
4	4	1	3	5	6	2
5	1	3	2	4	6	5
6	1	6	2	3	4	5
7	1	4	2	5	6	3
8	1	2	3	4	6	5
9	3	1	5	2	6	4
Сумма рангов данного фактора	17	27	23	37	52	33
Среднее значение суммы рангов	32					
Абсолютное значение отклонения суммы рангов от их среднего значения	15	5	9	5	20	1
Квадрат абсолютного значения отклонения	225	25	81	25	400	1

Значение коэффициента конкордации при 6 факторах и 9 экспертах:

$$W = 12 \times 757 / [9^2(6^3 - 6)] = 0,53.$$

Вычислим расчётное 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. 9. Монотонность изменения значимости факторов по сумме рангов нарушается после фактора IV. Поэтому фактор V (климатические условия плавания) отнесён к менее значимым.

Таким образом, по мнению экспертов, к факторам, влияющим на показатели надёжности, относятся:

- качество изготовления и монтажа (I),
- квалификация обслуживающего персонала (II),
- срок эксплуатации (III),
- механические воздействия (IV),
- режимы работы электрооборудования (VI).

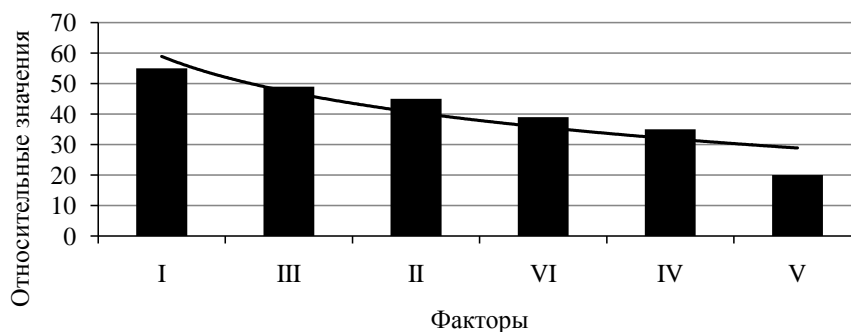


Рис. 9. Гистограмма ранжирования факторов

3.5. Эффективность существующих методов диагностики и планово-технического обслуживания

Анализируя влияние факторов с наибольшими относительными значениями (качество изготовления и монтажа, квалификация обслуживающего персонала), можно сделать вывод о том, что первый относится к объективным факторам (производственный), а второй – к субъективным ("человеческий фактор").

Обратим внимание, что очевидна корреляция между наиболее влияющими ранжированными факторами I и II с результатами, представленными на рис. 7, 8.

Соглашаясь с мнением экспертов, нами выдвинуто предположение, что влияние данных – разных по своей природе – факторов связано с единственной причиной, а именно – с недостаточно развитой системой оперативной диагностики электрооборудования на промысловых судах.

Для оценки данного положения экспертам были заданы вопросы:

– насколько существующие методы диагностики судового электрооборудования являются эффективными?

– насколько эффективны существующие методы планово-технического обслуживания (ПТО)?

Результаты опроса представлены на рис. 10, 11.



Рис. 10. Эффективность методов диагностики электрооборудования судов



Рис. 11. Мнение экспертов по поводу существующих систем ПТО

Анализируя методы существующей диагностики электрооборудования судов (рис. 10) на основе своего практического опыта, большинство экспертов (около 80 %) ответили, что существующие методы их удовлетворяют частично, и они считают необходимым внедрение новых оперативных методов.

На рис. 11 представлено распределение мнений экспертов по поводу эффективности существующих систем ПТО.

Очевидно, что более 40 % экспертов считают недостаточно эффективными существующие системы ПТО и рекомендуют развитие новых методов диагностики и контроля.

3.6. Эффективность и перспективы методов количественной термографии

На основе проведённого опроса можно сделать заключение о целесообразности повышения уровня эксплуатационной надёжности электрооборудования морских судов путём применения современных методов технической диагностики. В связи с этим считается целесообразным разработка и внедрение элементов системы контроля технического состояния электрооборудования на базе количественной термографии судового электрооборудования, основы которой отражены в работах (Власов, Мухин, 2010а; 2010б; Бувев, 2012). Нами были реализованы пилотные проекты, целью которых являлась не только техническая диагностика электрооборудования судов различного водоизмещения, но и распространение передового опыта, имеющего практическую значимость на объектах электрических сетей (Власов, 2006).

В настоящее время нами разработана инструкция по диагностике морских судов с использованием тепловизионной техники (Власов, Буев, 2012), которая принята к учёту Мурманским филиалом Российского морского регистра судоходства 30.10.2012 г. (Инструкция..., 2012).

Опыт сопровождения оборудования в энергетике показывает, что эффективная тепловизионная диагностика возможна с внедрением системы планово-предупредительного и прогностического обслуживания электрооборудования (Власов, 2002b).

Эффективность метода (метод оптической пирометрии) заключается в дистанционном оперативном контроле технического состояния электрооборудования непосредственно под нагрузкой, на основе оценки тепловых полей электрических сетей, приборов, агрегатов, электродвигателей и т.п.

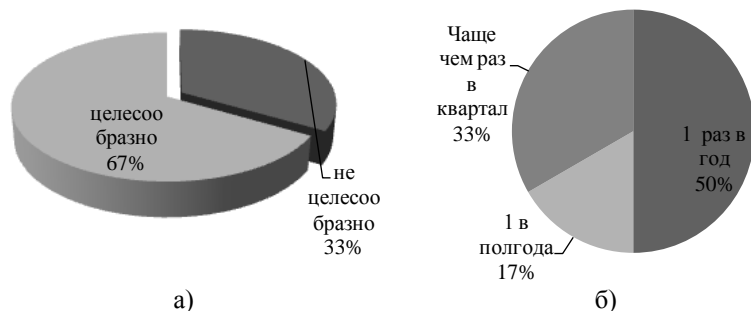


Рис. 12. Перспективы внедрения методов и периодичность термографии на судах

Экспертам было предложено ответить на вопросы, связанные с внедрением метода тепловизионной диагностики на судах рыбопромыслового флота. Результаты анализа представлены на рис. 12.

Более 67 % экспертов высказались в пользу внедрения тепловизионной диагностики на судах (рис. 12а). При этом более половины экспертов (рис. 12б) считают целесообразным проводить диагностику с использованием тепловизора раз в год, что согласуется со временем появления критических (аварийных) дефектов (рис. 5).

Следует заметить, что ряд экспертов, считающих внедрение данного метода нецелесообразным (33 %), тем не менее ограниченно используют методы оптической пирометрии, применяя точечные пирометры.

Как показывает мировая практика (Буев, 2012; Gnanendran et al., 2012; Handlin, 2004), применение методов количественной термографии позволяет уменьшить вероятность возникновения страховых случаев.

Подобный вывод подтверждается анализом ответов экспертов, представленном на рис. 13. Более 60 % экспертов считают, что использование тепловизионной диагностики уменьшает вероятность возникновения страховых случаев.

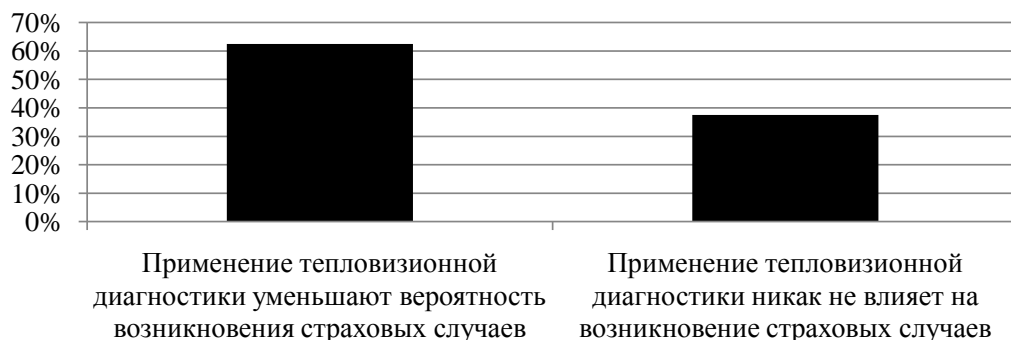


Рис. 13. Влияние тепловизионной диагностики на страховые риски

Отрицание влияния на страховые риски современных диагностических методов (35 %), по нашему мнению, частично связано с такими факторами, как недостаточная осведомлённость, неразвитость аппаратных методов оценки рисков, затраты на диагностику и т.п.

4. Заключение

Анализ совокупных результатов экспертной оценки современных методов ПТО и оперативной диагностики позволяет сделать ряд выводов.

Существующие методы ПТО на промысловых судах недостаточно эффективны и требуется разработка современных методов оперативной диагностики.

К подобным методам относится метод количественной термографии, который позволяет в кратчайшие сроки произвести тепловой контроль оборудования, кабельных трасс под нагрузкой (в том числе после ремонта, перед выходом на промысел и т.п.).

С одной стороны, разрозненность компаний и малочисленность их судов не даёт возможность приобретения дорогостоящей универсальной тепловизионной аппаратуры для диагностики и обучения квалифицированного персонала. Данное обстоятельство указывает на то, что перспективным является создание региональных научно-технических лабораторий термографического контроля состояния и анализа надёжности электрооборудования морских судов. Основные функции данной лаборатории должны состоять в полной периодической диагностике электрооборудования рыболовных судов.

С другой стороны, приобретение относительно недорогих тепловизионных приёмников, позволило бы специалистам проводить оперативный контроль непосредственно на судах в районах промысла, предотвращая появление критических дефектов. Этой цели способствует внедрение в учебный процесс вузов, готовящих специалистов для флота, курса по методам количественной термографии для курсантов и специалистов.

Внедрение оперативного термографического контроля приводит к повышению надёжности оборудования в период промысла, позволяет сократить проведение предстрахового осмотра, уменьшить страховые риски.

Благодарности. Авторы благодарят за поддержку Союз рыбопромышленников Севера и Мурманский филиал Российского морского регистра судоходства, руководителей и ведущих специалистов рыболовческих компаний Северо-Запада РФ.

Литература

- Gnanendran A., Hayes M.J.S., Watson D.** An engineering approach to upstream insurance: Risk management or poacher turned gamekeeper? Offshore Technology Conference. 2012. URL: <http://www.onepetro.org/mslib/servlet/onepetropreview?id=OTC-23114-MS>.
- Handlin S.** Infrared thermography in the marine industry. 2004. URL: www.irinfo.org/articles/article_6_2004_handlin.html.
- Буев С.А.** Техническая диагностика оборудования морских судов с использованием тепловизионной техники как метод оценки риска морского страхования. *Докл. конф. по строительной механике корабля, посвящённой памяти проф. П.Ф. Попковича. СПб., Крыловский государственный научный центр*, с. 76-77, 2012.
- Власов А.Б.** Модели и методы термографической диагностики объектов энергетики. *М., Колос*, 280 с., 2006.
- Власов А.Б.** Система сопровождения оборудования по техническому состоянию. Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. *Петербургский энерг. ин-т повышения квалификации рук. работников и специалистов*, вып. 20, с. 294-301, 2002б.
- Власов А.Б.** Экспертно-факторный анализ показателей надёжности по данным тепловизионного контроля. Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. *Петербургский энерг. ин-т повышения квалификации рук. работников и специалистов*, вып. 20, с. 241-247, 2002а.
- Власов А.Б., Буев С.А.** Техническая диагностика как метод оценки риска морского страхования. *Бюллетень транспортной информации*, № 4, с. 34-36, 2012.
- Власов А.Б., Мухин Е.А.** Оценка технического состояния электрооборудования судов методом тепловизионной диагностики. *Эксплуатация морского транспорта*, № 3, с. 66-69, 2010а.
- Власов А.Б., Мухин Е.А.** Применение тепловизионной диагностики для оценки теплового состояния электрооборудования и температуры обмотки судовых электродвигателей. *Вестник МГТУ*, т. 13, № 4/2, с. 937-941, 2010б.
- Инструкция по диагностике электрооборудования морских судов с использованием тепловизионной техники. *Учтена Мурманским филиалом Российского морского регистра судоходства. Утверждена ЗАО "Мурманская судоремонтная компания". Мурманск, МГТУ*, 16 с., 2012.