

Результаты статистического исследования видов однофазных замыканий в низковольтных судовых электросетях

И. Е. Кажекин*, М. С. Харитонов

*Калининградский государственный университет, г. Калининград, Россия;
e-mail: kazhekin@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9510-5275>

Информация о статье

Поступила
в редакцию
15.09.2023;

получена
после доработки
25.09.2023;

принята к публикации
28.09.2023

Ключевые слова:

однофазные замыкания,
низковольтные
электрические сети,
экспертный опрос,
судовое
электрооборудование,
аварийность, виды
разрядов, повреждения
электрооборудования

Реферат

Рост электроэнерговооруженности судов проявляется в увеличении мощностей судовых электростанций, общей протяженности кабельных линий, количества электрофицированных механизмов. С развитием морской техники возрастает тяжесть последствий повреждений судового электрооборудования, увеличиваются затраты на его техническое обслуживание и ремонт. Поиск путей повышения надежности и безопасности электрооборудования должен основываться на конструктивных и технологических решениях на этапах его разработки и производства, а также анализе различных факторов, которые могут проявляться в процессе эксплуатации морской техники и влиять на состояние судовых электросистем. В ходе исследования данных факторов выявлено, что одним из распространенных видов повреждений электрооборудования морской техники являются однофазные замыкания, причины возникновения которых разнообразны. Предотвращение замыканий трудозатратно и в ряде случаев неосуществимо. Однако понимание особенностей этого вида повреждений низковольтного оборудования необходимо для повышения надежности и безопасности судовых электросистем. Проведенные исследования основаны на анкетировании судовых электромехаников. Результаты опросов позволили выполнить анализ частоты возникновения однофазных повреждений изоляции, длительности их существования, выявить наиболее вероятные места возникновения замыканий и оборудование, подверженное таким повреждениям в большей степени по сравнению с остальными элементами электроэнергетической системы.

Для цитирования

Кажекин И. Е. и др. Результаты статистического исследования видов однофазных замыканий в низковольтных судовых электросетях. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 4. С. 431–440. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-4-431-440>.

Results of a statistical study of types of single-phase faults in low-voltage ship electrical networks

Ilya E. Kazhekin*, Maxim S. Kharitonov

*Kaliningrad State University, Kaliningrad, Russia;
e-mail: kazhekin@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9510-5275>

Article info

Received
15.09.2023;

received
in revised
25.09.2023;

accepted
28.09.2023

Key words:

single-phase faults,
low-voltage electrical
networks,
expert survey,
ship electrical
equipment,
accident rate,
types of discharges,
damage

Abstract

The increase in the power supply of ships is manifested in growth of ship power plants' capacity, the total length of cable lines, and the number of electrified mechanisms. With the development of marine technology, the severity of the consequences of damage to ship electrical equipment and the costs of its maintenance and repair increase. The search for ways to improve the reliability and safety of electrical equipment should be based on design and technological solutions at the stages of its development and production, as well as an analysis of various factors that may appear during the operation of marine equipment and affect the condition of ship electrical systems. During studying these factors, it has been revealed that one of the common types of damage to electrical equipment of marine equipment is single-phase short circuits, the causes of which are varied. Preventing short circuits is labour intensive and in some cases impracticable. However, understanding the characteristics of this type of damage to low-voltage equipment is necessary to improve the reliability and safety of ship electrical systems. The conducted research is based on a survey of ship electrical mechanics. The results of the surveys have made it possible to analyze the frequency of occurrence of single-phase insulation faults, the duration of their existence, to identify the most likely places of occurrence of short circuits and equipment that is more susceptible to such damage compared to other elements of the electrical power system.

For citation

Kazhekin, I. E. et al. 2023. Results of a statistical study of types of single-phase faults in low-voltage ship electrical networks. *Vestnik of MSTU*, 26(4), pp. 431–440. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-4-431-440>.

Введение

По мере развития морской техники повышаются технико-экономические показатели судового электрооборудования, растет мощность судовых электростанций, увеличиваются общая протяженность кабельных линий и количество электрофицированных механизмов.

Несмотря на развитие средств повышения безопасности и надежности морского электрооборудования, аварии на флотах продолжают происходить, возрастает тяжесть последствий повреждений судового электрооборудования, увеличиваются затраты на его техническое обслуживание и ремонт. Выполненный на основе представленных в работе (Глазюк и др., 2022) данных анализ общей аварийности за несколько лет (2016–2021 гг.) показал, что количество аварийных событий составляет примерно 187 (значения отклоняются от этого показателя не более чем на 17 %).

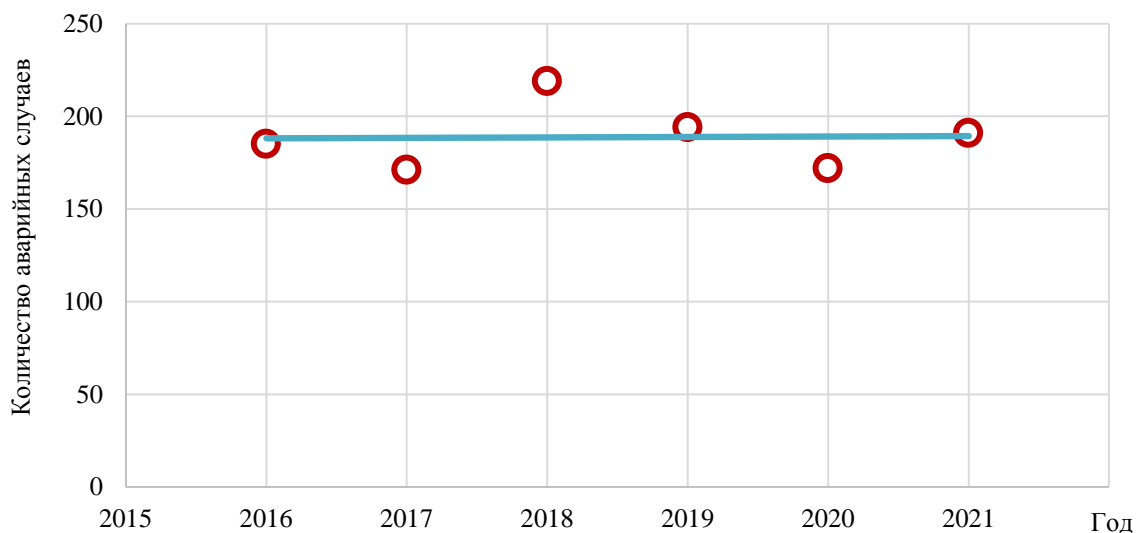


Рис. 1. Аварийность морского флота Российской Федерации за 2016–2021 гг. (Глазюк и др., 2022)

Fig. 1. Accident rate of the Russian Federation maritime fleet, 2016–2021 (Глазюк и др., 2022)

Снижение количества аварийных случаев, а также тяжести их последствий достигается в ходе мероприятий по воздействию на конкретные факторы. Выбор технических решений для минимизации рисков при эксплуатации морской техники должен осуществляться с использованием результатов анализа морских аварий. Согласно статистике (Kwiecińska, 2015) значительная доля инцидентов в общем количестве аварий судов связана с пожарами (20 %). Пожары занимают второе место среди причин несчастных случаев на флоте (рис. 2).

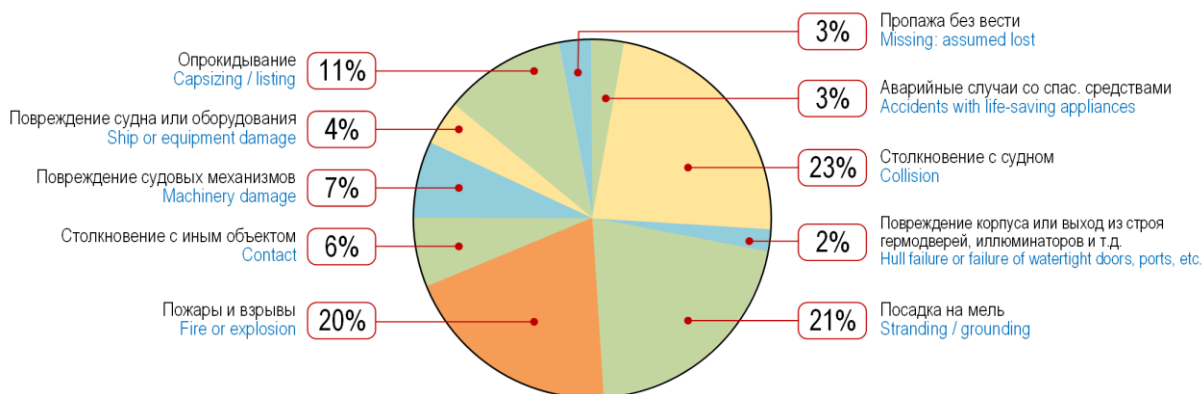


Рис. 2. Виды аварий и инцидентов на море по данным 2009–2014 гг. (Kwiecińska, 2015)

Fig. 2. Types of accidents and incidents at sea according to data from 2009–2014 (Kwiecińska, 2015)

Процентное распределение пожаров по типам судов представлено на рис. 3. Значительная часть пожаров приходится на суда рыболовецкого флота, отличающиеся наибольшим разнообразием технологического электрооборудования и возрастного состава (Жук и др., 2015).

Решение проблемы судовых пожаров не должно основываться лишь на совершенствовании систем пожаротушения. Следует отметить, что существующие системы противопожарной защиты, расположенные как в грузовых отсеках, так и на палубах, неэффективны, так как с их помощью (без посторонней помощи) удалось потушить всего 17 % пожаров; 30 % случаев завершилось тем, что судно было оставлено экипажем, а среди его членов были раненые или погибшие (*Krmek et al., 2022*).

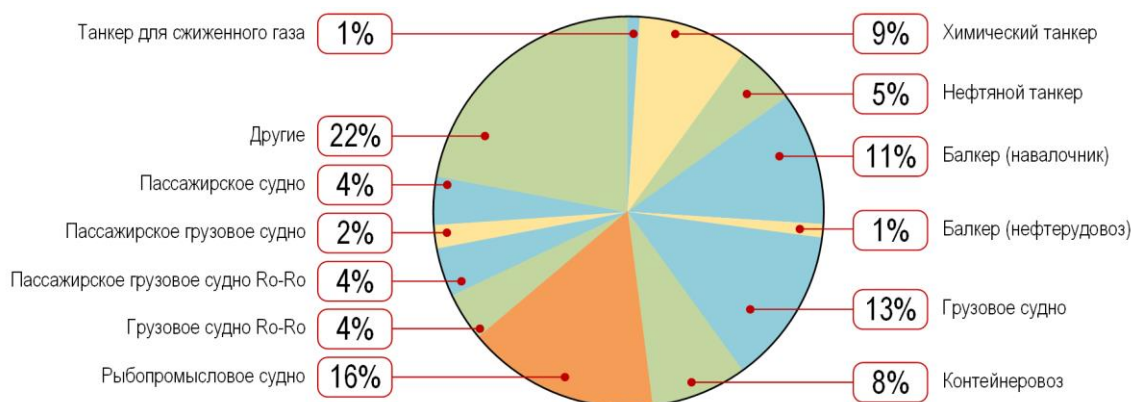


Рис. 3. Распределение пожаров по типам судов (*Kwiecińska, 2015*)
 Fig. 3. Distribution of fires by type of vessel (*Kwiecińska, 2015*)

По тяжести последствий судовой пожар является также одним из наиболее опасных происшествий. По данным, указанным в работе (*Kwiecińska, 2015*), 18,7 % судовых пожаров связано со смертельными травмами людей или их пропажей без вести, а 14,8 % случаев приводит к гибели судна. При этом оценка ущерба от судовых пожаров не должна ограничиваться повреждением судна и его груза. Значительный материальный ущерб пожарами наносится из-за возникающего загрязнения окружающей среды. Последствия этих аварий усугубляются тем, что 90 % всех судовых пожаров происходит на расстоянии до 300 миль от берега (*Bespalko et al., 1998*).

Существуют различные классификации причин возникновения пожаров на судах. В работе (*Ahn et al., 2021*) проанализированы технические причины: скопление горючих газов в грузовом танке; возникновение электрических дуг; нарушения при проведении огневых работ; появление статического электричества; самовозгорание грузов. Более детальный анализ причин приводится в работе (*Подобед, 2011*), описывающей распределение пожаров согласно причинам их возникновения на судах рыбопромышленного флота Северного бассейна. По данным указанной статистики, основная их часть (37 %) вызвана нарушениями требований безопасности при огневых работах, 23 % – неосторожным обращением с огнем, 18 % – ошибками при работе с электрооборудованием, 15 % – попаданием горючих материалов на горячие поверхности. Эти данные согласуются со сведениями, полученными национальными агентствами различных стран на основе отчетов о происшествиях на морском транспорте в 1990–2015 гг. (*Baalisampang et al., 2018*). Причины возникновения пожаров сгруппированы в пять категорий: человеческий фактор; механическая неисправность; самовозгорание грузов; электрическая неисправность; неустановленные причины. Под электрическими неисправностями автором понимается возникновение электрических разрядов; использование неисправного оборудования; замыкания и плохие контакты токопроводов. Категории причин судовых пожаров и взрывов и их процентное распределение приведены на рис. 4.

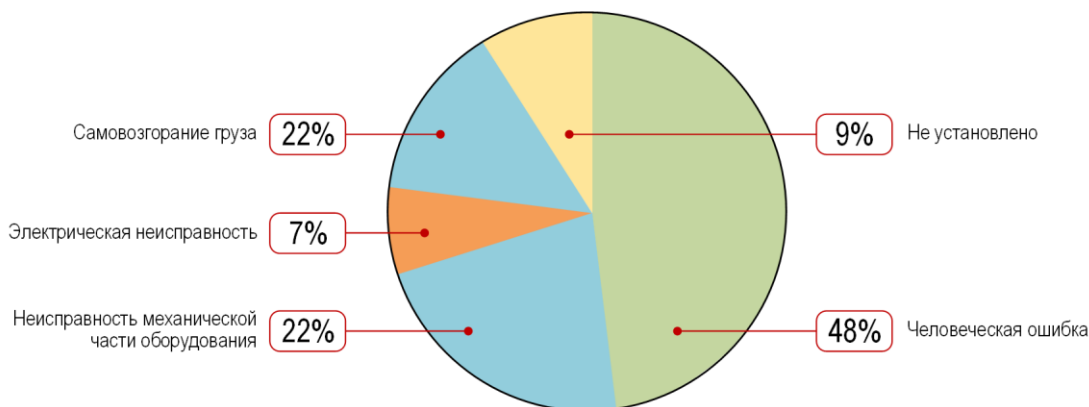


Рис. 4. Причины возникновения пожаров и взрывов (*Baalisampang et al., 2018*)
 Fig. 4. Causes of fires and explosions (*Baalisampang et al., 2018*)

В работе (*Jadin et al., 2012*) в дополнение к перечисленным видам повреждений низковольтного электрооборудования отмечены также его перегрузки, дисбаланс нагрузки и неправильная установка оборудования. Наиболее тяжелыми последствиями повреждений судового электрооборудования являются поражение электрическим током, возгорание и нарушение бесперебойности электроснабжения.

При анализе особенностей эксплуатации электроэнергооборуженных объектов морской техники отмечается значительная роль электрооборудования в возникновении и развитии пожаров (*Скороходов, 2018*) и в целом аварий. Более 80 % пожаров на подобных объектах связано с электрическими сетями (*Каракаев и др., 2011*). В работе (*Соболенко и др., 2019*) показано, что на протяжении тридцати лет треть аварийных случаев на судах рыбопромыслового флота происходит по причинам отказа или поломки судовых технических средств. Среди общей аварийности на судах типа БАТМ за 2011–2020 гг. 43–67 % случаев связано с повреждениями электрооборудования (*Омельченко, 2022*). Чаще всего аварийные дефекты возникают в генераторах и кабельных сетях (*Власов и др., 2013*).

Аварийность, обусловленная повреждениями судового электрооборудования, может быть снижена за счет совершенствования методов его диагностики (*Yu et al., 2022; Власов и др., 2021*), а также уменьшения степени тяжести последствий повреждений (*Кажекин, 2019; Острейковский и др., 2007*). Одним из наиболее опасных и распространенных видов повреждений судового электрооборудования следует признать однофазные замыкания. В частности, с этим видом замыканий связана значительная часть случаев выхода из строя судовых кабелей (*Кузнецов и др., 1991*) и электроприводов (*Кузнецов и др., 2011*). Опасность повреждений обусловлена тем, что в большинстве случаев однофазные замыкания в судовых электросистемах являются неотключаемыми. Длительность существования замыкания фазы на корпус судна ограничивается возможностью членов экипажа локализовать место повреждения оборудования. При этом место замыкания в течение всего времени, пока происходит его локализация, может подвергаться тепловым воздействиям протекающего через него тока или дуговых процессов.

Выбор технологии повышения безопасности судового электрооборудования в режиме однофазного замыкания должен проводиться с учетом сведений о его эксплуатации. Целью проведенного исследования являлся статистический анализ особенностей однофазных замыканий в действующих низковольтных электросистемах объектов морской техники, выполненный на основе анкетирования экспертов в области судового электрооборудования.

Материалы и методы

Получение информации об особенностях развития однофазных замыканий в действующих судовых электросистемах – достаточно трудная задача. К проблемам ее решения следует отнести недостаток систематизированных данных в открытой печати о результатах расследований аварийных ситуаций, а также отсутствие информации о наблюдениях за повреждениями электрооборудования. Таким образом, статистические данные об эксплуатации электросистем весьма ограничены и их использование при решении вопросов повышения безопасности электрооборудования затруднительно. Оценка показателей надежности и эффективности применения технических средств может проводиться посредством (*Prousalidis et al., 2008*):

- испытаний в лабораторных и заводских условиях;
- компьютерного моделирования процессов, возникающих при эксплуатации;
- сбора и анализа статистических материалов, полученных в ходе наблюдений за работой технического оборудования в процессе эксплуатации.

Наиболее ценными следует признать результаты статистического анализа данных наблюдений за оборудованием в процессе эксплуатации. Получение такой информации и ее анализ должен проводиться в течение длительного времени; подобные исследования необходимо периодически повторять (*Борисов и др., 2012*).

При разработке методики сбора информации следует учесть, что запрос излишних сведений затрудняет получение достоверных данных и их последующую обработку. Указанным требованиям к сбору информации удовлетворяет такой способ получения сведений, как проведение экспертных опросов, выполненных на основе количественных методов оценки (*Бубнова и др., 2018*).

На основании вышеизложенного, а также общих рекомендаций к проведению экспертных опросов (*Осинов и др., 1977; Даулеткериев, 2009*) была подготовлена методика анкетирования экспертов в области судового электрооборудования. Анкета содержала вопросы, ответы на которые позволяли оценить опасность и особенности однофазных повреждений изоляции низковольтного судового электрооборудования. В роли экспертов выступали судовые электромеханики, имеющие опыт работы в этой должности на судах различного типа не менее пяти лет. Для уменьшения степени субъективности ответов часть информации собиралась только по последнему рейсу эксперта. Опросы проводились в течение календарного года. В роли экспертов приняли участие 54 электромеханика, что превышает количество участников подобных опросов, проводимых ранее (*Кузнецов и др., 1991*).

Разработанная анкета состояла из двух частей, направленных на выявление особенностей однофазных замыканий в низковольтных электрических системах. Первая часть вопросов касалась оценки периодичности возникновения и длительности замыканий. Оценка осуществлялась на основе всего опыта эксплуатации

судового оборудования экспертом. Вторая часть анкеты содержала вопросы о видах, причинах, условиях возникновения и последствиях замыканий. В этой части опроса экспертами осуществлялось распределение случаев замыкания, произошедших во время их последнего рейса, по предложенным признакам. Возраст судов, участвовавших в наблюдении, варьировался от 1 года до 45 лет.

Результаты и обсуждение

Согласно проведенным опросам, 37 % специалистов отметили, что в их практике замыкания происходили более чем раз в месяц. Наибольшее указанное значение составило 12 раз в месяц. Распределение частоты возникновения однофазных повреждений изоляции приведено на рис. 5.

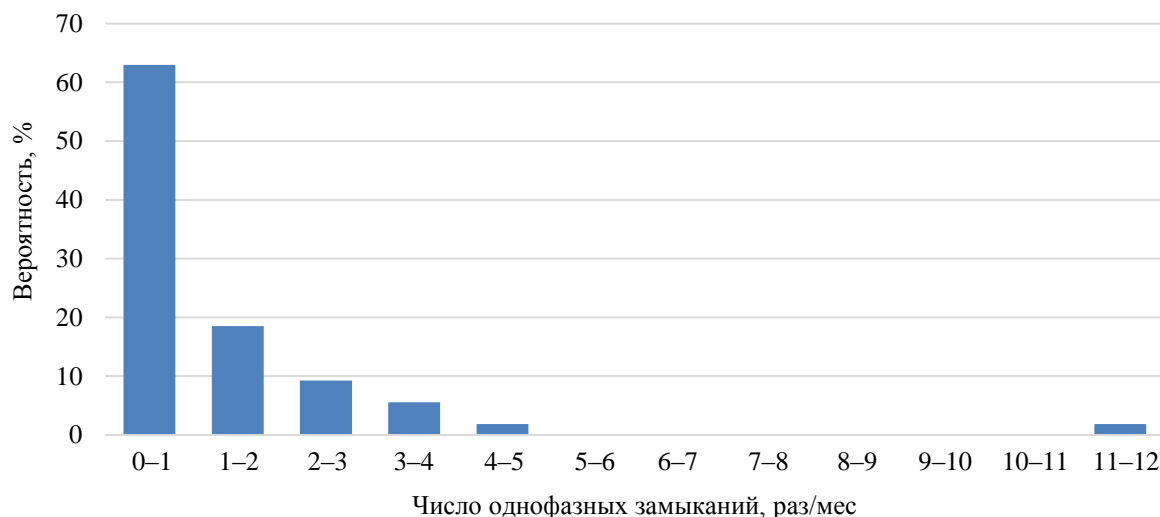


Рис. 5. Распределение частоты возникновения однофазных замыканий
Fig. 5. Distribution of frequency of single-phase faults' occurrence

Почти три четверти замыканий (73,9 %) было устранено в течение первых суток; однако были отмечены замыкания, длившиеся трое суток. Распределение замыканий по их длительности представлено на рис. 6.



Рис. 6. Распределение однофазных замыканий по длительности их существования без отключения
Fig. 6. Distribution of single-phase faults by their duration without shutdown

Среди наиболее вероятных причин возникновения однофазных замыканий эксперты выделили увлажнение изоляции (38,3 %), возникающее по различным причинам, в том числе в результате образования конденсата на электрооборудовании. На второе место экспертами поставлено старение изоляции (34,7 %), под которым понималось постепенное ухудшение ее свойств, обусловленное воздействием электрических, механических, тепловых и прочих факторов, не приводящих к немедленному пробоя. Также большое значение имеют механические повреждения изоляции (15,2 %), возникающие как при монтаже электрооборудования, так и в результате случайных воздействий при эксплуатации. На рис. 7 показано распределение однофазных замыканий по причинам их возникновения.

Данные, представленные на рис. 7, согласуются с результатами опроса о наиболее вероятных местах возникновения замыканий (рис. 8). По мнению экспертов, значительная часть замыканий (53,2 %) возникает в связи с повреждением изоляции электрооборудования палубных механизмов, в наибольшей степени подвергаемых увлажнению. Подобное мнение соответствует результатам более ранних опросов об эксплуатации кабельного оборудования, описанных в работе (Кузнецов и др., 1991).

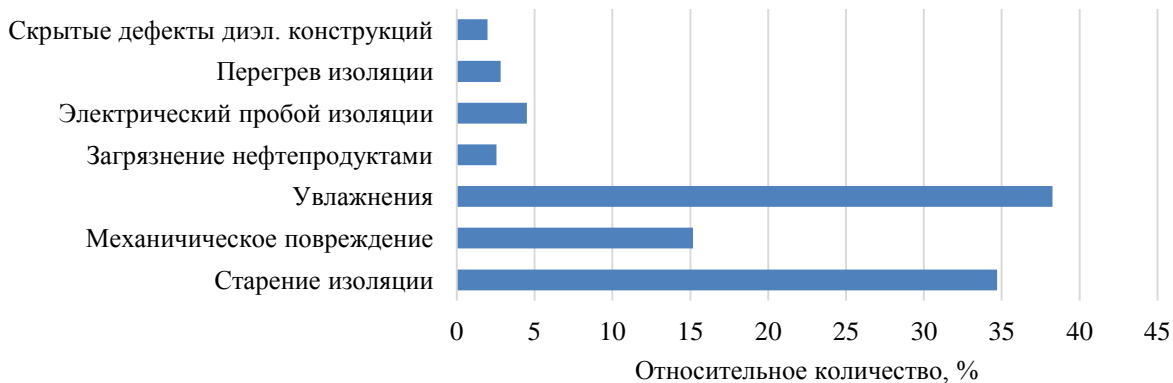


Рис. 7. Распределение однофазных замыканий по причинам их возникновения
 Fig. 7. Distribution of single-phase faults by reasons for their occurrence

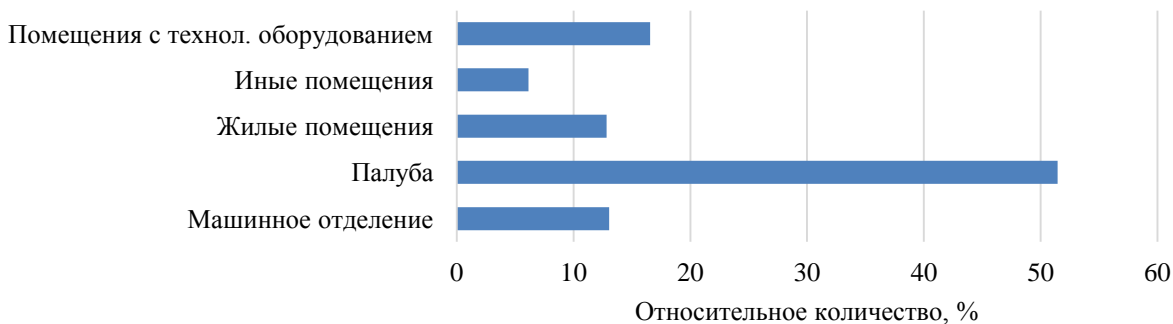


Рис. 8. Распределение однофазных замыканий в зависимости от места их возникновения
 Fig. 8. Distribution of single-phase faults depending on the location of their occurrence

В первую очередь замыкания возникали в кабельном оборудовании (40,3 %); большое количество замыканий происходило в бытовом оборудовании (29,3 %) и электрических машинах (16,8 %). Распределение случаев однофазных замыканий в судовом оборудовании представлено на рис. 9.

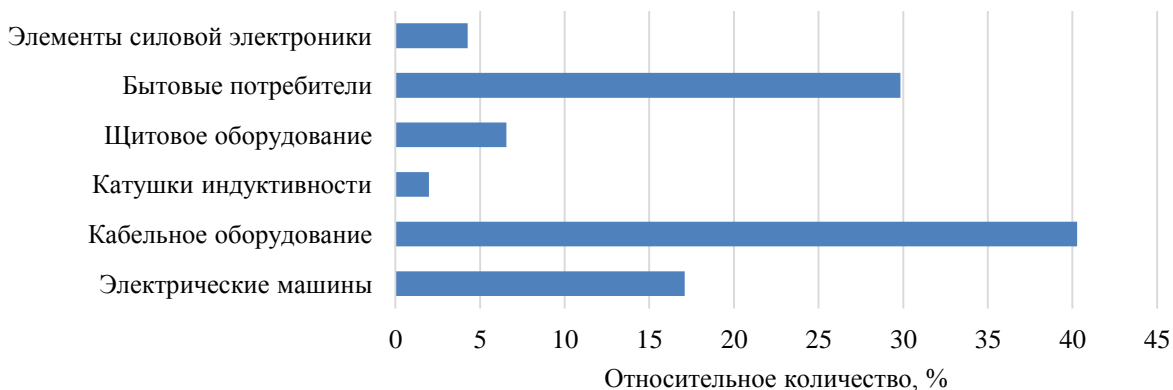


Рис. 9. Распределение однофазных замыканий по видам повреждаемого электрооборудования
 Fig. 9. Distribution of single-phase faults by type of damaged electrical equipment

По оценкам экспертов, наименее вероятно возникновение повреждений в низковольтных судовых электросистемах устойчивой дуги (4,16 % отмеченных случаев). Наибольшее число замыканий (29 %) произошло через переходное сопротивление, величина которого варьировалась от нескольких Ом до нескольких кОм. Около трети однофазных замыканий происходило в виде неустойчивой дуги, искрения, неустойчивого контакта фазы с корпусом (27,8 %). Распределение сопоставляемых видов однофазных замыканий показано на рис. 10.

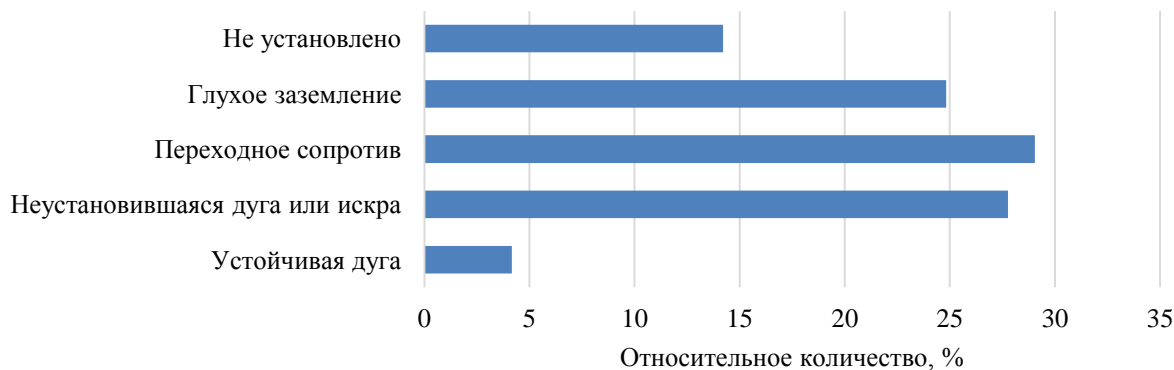


Рис. 10. Распределение однофазных замыканий по их видам
Fig. 10. Distribution of single-phase faults by their types

Последствия однофазных замыканий ограничиваются текущим ремонтом электрооборудования (53 %), направленным на восстановление его работоспособности, однако среди возможных последствий нельзя исключить и возникновение пожаров и взрывов (около 1,8 % случаев однофазных замыканий); нарушение электропитания ответственных потребителей (7,4 %); потерю питания судна (7,2 %). Распределение последствий возникших отказов приведено на рис. 11.



Рис. 11. Распределение однофазных замыканий по их последствиям
Fig. 11. Distribution of single-phase faults by their consequences

Проведенные исследования позволили выявить участки изоляции судовой электроэнергетической системы, которые наиболее подвержены повреждениям, способным развиваться в однофазные замыкания. Впервые проведено сопоставление по количеству возникновений различных видов однофазных повреждений изоляции в низковольтных судовых электросетях, а также дана оценка их периодичности и длительности.

Заключение

Безопасность современного флота во многом определяется состоянием судового электрооборудования. Повышение безопасности технически оснащенных судов достигается посредством совершенствования технических мероприятий, направленных на своевременное выявление дефектов судового электрооборудования, а также на снижение тяжести последствий аварий. Значительная часть повреждений электрооборудования сопровождается однофазными замыканиями на корпус.

Полученные в ходе проведенного опроса сведения об этом виде замыкания в низковольтных судовых электросетях позволили выявить следующие закономерности:

- вероятность однофазных замыканий достаточно высока, их возникновение может происходить с периодичностью несколько раз в месяц;
- длительность замыканий (время от момента возникновения до момента устранения) может достигать нескольких суток;
- изоляция электрооборудования, располагающегося на палубе, наиболее подвержена повреждениям в сравнении с остальными элементами судовой электросистемы;
- основными механизмами повреждения изоляции судового электрооборудования являются увлажнение и различные виды старения;
- однофазные замыкания наиболее часто происходят при повреждениях изоляции кабельного оборудования и сопровождаются искрением, неустойчивыми дуговыми процессами или протеканием тока через переходное сопротивление;
- около 2 % замыканий в судовых электросетях способны привести к возникновению пожаров и взрывов, а около 7 % – к обесточиванию судна.

На основании проведенных статистических исследований выявлено, что наиболее актуальным направлением повышения безопасности судовых электрических сетей является снижение тяжести последствий в условиях протекания дуговых и искровых процессов, возникающих в условиях повреждения кабельной изоляции.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Федерального агентства по рыболовству (контракт № 122030900054-0).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Борисов В. М., Борисов С. В. Методика сбора информации для оценки экспериментальной надежности компрессорных и холодильных машин // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, № 10. С. 222–225. EDN: OZHBEX.
- Бубнова А. Ю., Мельников С. Л. Сравнительный анализ социологических методов исследования аудитории // Научный журнал Дискурс. 2018. № 5. С. 87–101. EDN: UQMBIW.
- Власов А. Б., Буев С. А. Анализ надежности электрооборудования судов рыболовцевских компаний Северо-Запада // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16. № 4. С. 663–671. EDN: RRVIUB.
- Власов А. Б., Буев С. А. Поиск новых методов диагностики текущего технического состояния кабельной сети судна // Балтийский морской форум : материалы IX Междунар. Балтийского морского форума, 4–9 октября 2021 г. В 6 т. Т. 2. Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии / сост. Н. А. Кострикова. Калининград : Изд-во БГАРФ, 2021. С. 163–168.
- Глазюк Д. К., Щербань З. А. Анализ аварийности морского флота РФ в период 2016–2021 гг. // Научные труды Дальрыбвтуза. 2022. № 2. С. 49–55. EDN: ZPKCOY.
- Даулеткериев А. Р. Методы социологического исследования // Труды Грозненского государственного нефтяного технического университета им. академика М. Д. Миллионщикова. 2009. № 9. С. 304–308. EDN: RDRSDV.
- Жук А. П., Мизюркин М. А. Современная структура флота рыбной промышленности Приморского края // Рыбное хозяйство. 2015. № 3. С. 50–55. EDN: UGDDIT.
- Кажекин И. Е. Описание процессов при дуговых однофазных замыканиях в низковольтных судовых электросетях с компенсированной нейтралью // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 4–4(46). С. 83–87. EDN: XKAZRD.
- Каракаев А. Б., Луканин А. В. Проблемы исследования электрокоммуникаций и обеспечения устойчивости кораблей и судов к авариям // Эксплуатация морского транспорта. 2011. № 2(64). С. 67–70. EDN: NYBZPB.
- Кузнецов С. Е., Бурков А. Ф. Анализ отказов судовых электроприводов // Эксплуатация морского транспорта. 2011. № 3(65). С. 49–54. EDN: OIVICB.
- Кузнецов С. Е., Лёмин Л. А., Росляков Р. О. Анализ отказов судовых кабелей // Судостроение. 1996. № 1. С. 33–34.
- Омельченко Д. О., Федосеев К. Р. Анализ аварийности судового оборудования на рыболовцевских судах типа БАТМ // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития : материалы Пятой междунар. науч.-техн. конф. (18–21 октября 2022 г.) / отв. за вып. О. А. Белов. Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2022. С. 18–22. EDN: GPNQBE.
- Осипов Г. В., Андреев Э. П. Методы измерения в социологии. М. : Наука, 1977. 183 с.

- Острейковский В. М., Ратников В. И. О повышении уровня электропожаробезопасности на судах отрасли // Рыбное хозяйство. 2007. № 5. С. 114–115. EDN: JKHВEX.
- Подобед В. А., Панкратов А. А. Анализ пожаров на судах рыбопромыслового флота Северного бассейна // Вестник МГТУ. 2011. Т. 14, № 4. С. 728–732. EDN: RBWEYB.
- Скорыходов Д. А. Анализ информационных параметров пожарной безопасности на судах // Автоматика на транспорте. 2018. Т. 4, № 2. С. 195–207. EDN: RZYJWT.
- Соболенко А. Н., Турищев И. П., Гомзяков М. В., Москаленко О. В. Анализ технических отказов на промышленных судах в Дальневосточном регионе // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Морская техника и технология. 2019. № 3. С. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2019-3-48-55>. EDN: YUMRJX.
- Ahn Y.-J., Yu Y.-U., Kim J.-K. Accident cause factor of fires and explosions in tankers using fault tree analysis // Journal of Marine Science and Engineering. 2021. Vol. 9, Iss. 8. Article number: 844.
- Baalisampang T., Abbassi R., Garaniya V., Khan F. [et al.]. Review and analysis of fire and explosion accidents in maritime transportation // Ocean Engineering. 2018. Vol. 158. P. 350–366. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.04.022>.
- Bespalko S. J., Fagan H. F., Sindt A. D., Sprung J. L. [et al.]. Variation of ship fire and ship collision frequencies with ocean location // International Journal of Radioactive Materials Transport. 1998. Vol. 9, Iss. 2. P. 93–102. DOI: <https://doi.org/10.1179/rmt.1998.9.2.93>.
- Jadin M. S., Taib S. Recent progress in diagnosing the reliability of electrical equipment by using infrared thermography // Infrared Physics & Technology. 2012. Vol. 55, Iss. 4. P. 236–245. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2012.03.002>.
- Krmek I., Kos S., Brčić D. Analytical research of the container ships cargo area fires in the period from 2010 to 2020 // Naše more. 2022. Vol. 69, N 1. P. 62–69. DOI: <https://doi.org/10.17818/nm/2022/1.8>.
- Kwiecińska B. Cause-and-effect analysis of ship fires using relations diagrams // Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie. 2015. Vol. 44(116). P. 187–191. DOI: 10.17402/075.
- Prousalidis J., Styvaktakis E., Kanellos F., Perros S. [et al.]. Electric power supply quality in ship systems: An overview // International Journal of Ocean Systems Management. 2008. Vol. 1, Iss. 1. P. 68–83. DOI: <https://doi.org/10.1504/ijosm.2008.017782>.
- Yu C., Qi L., Sun J., Jiang C. [et al.]. Fault diagnosis technology for ship electrical power system // Energies. 2022. Vol. 15, Iss. 4. Article number: 1287. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15041287>.

References

- Borisov, V. M., Borisov, S. V. 2012. Methodology for collecting information for assessing the experimental reliability of compressor and refrigeration machines. *Herald of Technological University*, 15(10), pp. 222–225. EDN: OZHBEX. (In Russ.)
- Bubnova, A. Yu., Melnikov, S. L. 2018. Comparative analysis of sociological methods of audience research. *Nauchnyi Zhurnal Diskurs*, 5, pp. 87–101. EDN: UQMBIW. (In Russ.)
- Vlasov, A. B., Buev, S. A. 2013. Analysis of the reliability of electrical equipment of ships of fishing companies of the North-West. *Vestnik of MSTU*, 16(4), pp. 663–671. EDN: RRVIUB. (In Russ.)
- Vlasov, A. B., Buev, S. A. 2021. Search for new methods for diagnosing the current technical condition of a ship's cable network. Proceedings of conf. *Baltic Maritime Forum*. In 6 Vol. Vol. 2. Marine engineering and technology. Maritime industry safety. Kaliningrad, pp. 163–168. (In Russ.)
- Glazyuk, D. K., Shcherban, Z. A. 2022. Analysis of the accident rate of the Russian maritime fleet in the period of 2016–2021. *Scientific Journal of the Far East State Technical Fisheries University*, 2, pp. 49–55. EDN: ZPKCOY. (In Russ.)
- Dauletkeriev, A. R. 2009. Methods of sociological research. *Trudy Groznenskogo Gosudarstvennogo Neftyanogo Tekhnicheskogo Universiteta im. Akademika M. D. Millionshchikova*, 9, pp. 304–308. EDN: RDRSDV. (In Russ.)
- Zhuk, A. P., Mizyurkin, M. A. 2015. Modern structure of the fishing industry fleet of the Primorsky Territory. *Fisheries*, 3, pp. 50–55. EDN: UGDDIT. (In Russ.)
- Kazhekin, I. E. 2019. Description of processes during single-phase arc faults in low-voltage ship electrical networks with a compensated neutral. *Marine Intellectual Technologies*, 4–4(46), pp. 83–87. EDN: XKAZRD. (In Russ.)
- Karakaev, A. B., Lukanin, A. V. 2011. Problems of researching electrical communications and ensuring the resistance of ships and vessels to accidents. *Ekspluatatsiya Morskogo Transporta*, 2(64), pp. 67–70. EDN: NYBZPB. (In Russ.)
- Kuznetsov, S. E., Burkov, A. F. 2011. Analysis of failures of ship electric drives. *Ekspluatatsiya Morskogo Transporta*, 3(65), pp. 49–54. EDN: OIVICB. (In Russ.)
- Kuznetsov, S. E., Lemin, L. A., Roslyakov, R. O. 1996. Analysis of failures of ship cables. *Shipbuilding*, 1, pp. 33–34. (In Russ.)

- Omelchenko, D. O., Fedoseev, K. R. 2022. Analysis of the accident rate of ship equipment on fishing vessels of the BATM type. Proceedings of Intern. conf. *Technical operation of water transport: Problems and development paths*, 18–21 October, 2022. Petropavlovsk-Kamchatsky, pp. 18–22. EDN: GPNQBE. (In Russ.)
- Osipov, G. V., Andreev, E. P. 1977. Methods of measurement in sociology. Moscow. (In Russ.)
- Ostreykovsky, V. M., Ratnikov, V. I. 2007. On increasing the level of electrical fire safety on industry vessels. *Fisheries*, 5, pp. 114–115. EDN: JKHBE. (In Russ.)
- Podobed, V. A., Pankratov, A. A. 2011. Analysis of fires on ships of the fishing fleet of the Northern Basin. *Vestnik of MSTU*, 14(4), pp. 728–732. EDN: RBWEYB. (In Russ.)
- Skorokhodov, D. A. 2018. Analysis of information parameters of fire safety on ships. *Transport Automation Research*, 4(2), pp. 195–207. EDN: RZYJWT. (In Russ.)
- Sobolenko, A. N., Turishchev, I. P., Gomzyakov, M. P., Moskalenko, O. V. 2019. Analysis of technical failures on fishing vessels in the Far East. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. SERIES: Marine Engineering and Technologies*, 3, pp. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2019-3-48-55>. EDN: YUMRXX. (In Russ.)
- Ahn, Y.-J., Yu, Y.-U., Kim, J.-K. 2021. Accident cause factor of fires and explosions in tankers using fault tree analysis. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(8). Article number: 844.
- Baalisampang, T., Abbassi, R., Garaniya, V., Khan, F. et al. 2018. Review and analysis of fire and explosion accidents in maritime transportation. *Ocean Engineering*, 158, pp. 350–366. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.04.022>.
- Bespalko, S. J., Fagan, H. F., Sindt, A. D., Sprung, J. L. et al. 1998. Variation of ship fire and ship collision frequencies with ocean location. *International Journal of Radioactive Materials Transport*, 9(2), pp. 93–102. DOI: <https://doi.org/10.1179/rmt.1998.9.2.93>.
- Jadin, M. S., Taib, S. 2012. Recent progress in diagnosing the reliability of electrical equipment by using infrared thermography. *Infrared Physics & Technology*, 55(4), pp. 236–245. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2012.03.002>.
- Krmek, I., Kos, S., Brčić, D. 2022. Analytical research of the container ships cargo area fires in the period from 2010 to 2020. *Naše more*, 69(1), pp. 62–69. DOI: <https://doi.org/10.17818/nm/2022/1.8>.
- Kwiecińska, B. 2015. Cause-and-effect analysis of ship fires using relations diagrams. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*, 44(116), pp. 187–191. DOI: 10.17402/075.
- Prousalidis, J., Styvaktakis, E., Kanellos, F., Perros, S. et al. 2008. Electric power supply quality in ship systems: An overview. *International Journal of Ocean Systems Management*, 1(1), pp. 68–83. DOI: <https://doi.org/10.1504/ijosm.2008.017782>.
- Yu, C., Qi, L., Sun, J., Jiang, C. et al. 2022. Fault diagnosis technology for ship electrical power system. *Energies*, 15(4). Article number: 1287. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15041287>.

Сведения об авторах

Кажекин Илья Евгеньевич – Советский пр-т, 1, г. Калининград, Россия, 236022;
Калининградский государственный университет, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: kazhekin@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9510-5275>

Пуя Е. Kazhekin – 1 Sovetsky Ave., Kaliningrad, Russia, 236022;
Kaliningrad State University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: kazhekin@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9510-5275>

Харитонов Максим Сергеевич – Советский пр-т, 1, г. Калининград, Россия, 236022;
Калининградский государственный университет, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: mshkaritonov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8185-8820>

Maxim S. Kharitonov – 1 Sovetsky Ave., Kaliningrad, Russia, 236022;
Kaliningrad State University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: mshkaritonov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8185-8820>