

## **СУДОСТРОЕНИЕ, СУДОРЕМОНТ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СУДНА**

### **SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ECOLOGICAL SAFETY OF THE SHIP**

УДК 656.6

DOI: 10.37890/jwt.vi80.506

#### **Подготовка данных для выявления причин отказов корпусов судов и судовых технических средств**

**Д.А. Казанцев**<sup>1</sup>

**Е.Г. Бурмистров**<sup>2</sup>

ORCID: 0000-0003-0385-0847

**Д. Ф. Зинченко**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>АО «Судоходная компания «Волжское пароходство», г. Нижний Новгород, Россия

<sup>2</sup>Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы решения проблем и формализации процедуры выявления коренных причин отказов корпусов судов и судовых технических средств с применением комбинированных методов и подходов. Отказы систематизированы по природе их возникновения на постепенные, внезапные, сложные. Рассмотрено применение процесса RCA (Анализ первопричин) для выяснения, что конкретно произошло?, почему это произошло?, что нужно сделать, чтобы уменьшить вероятность повторения подобного? Выполнен анализ основного инструментария для выявления первопричин появления отказов. Приведена схема разработки мероприятий, влияющих на физическую коренную причину отказа, на основании которой формируется стратегия обслуживания корпусов судов и судовых технических средств. Практическая цель работы заключается в решении задачи по выявлению коренных причин отказов и технических недостатков и выработке мероприятий, направленных на устранение и предупреждение аналогичных отказов в будущем, а также на изменение стратегий ремонта на основании анализа и выводов по разбору коренных причин отказов.

**Ключевые слова:** судовые технические системы и корпус, анализ первопричин, отказы, надёжность, технические недостатки, предупреждение отказов, стратегии ремонтов.

#### **Preparation of data to identify the causes of failures of ship hulls and ship technical equipment**

**Dmitry A. Kazantsev**<sup>1</sup>

**Evgeniy G. Burmistrov**<sup>2</sup>

ORCID: 0000-0003-0385-0847

**Dmitriy F. Zinchenko**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JSC «Shipping Company «Volga Shipping Company», Nizhny Novgorod, Russia

<sup>2</sup>Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

**Abstract.** The article discusses issues of solving problems and formalizing the procedure for identifying the root causes of failures of ship hulls and ship technical equipment using

combined methods and approaches. Failures are systematized according to the nature of their occurrence into gradual, sudden, complex. Considered the use of the RCA (Root Cause Analysis) process to find out what exactly happened, why did it happen, what must be done to reduce the probability of a similar occurrence? An analysis of the main tools was carried out to identify the root causes of failures. A scheme for developing measures that influence the physical root cause of failure is presented, on the basis of which a strategy for maintaining ship hulls and ship technical equipment is formed. The practical goal of the work is to solve the problem of identifying the root causes of failures and technical deficiencies and developing measures aimed at eliminating and preventing similar failures in the future, as well as changing repair strategies based on the analysis and conclusions of the analysis of the root causes of failures.

**Keywords:** ship technical systems and hull, root cause analysis, failures, reliability, technical deficiencies, failure prevention, repair strategies.

### **Введение**

Статистика отказов по корпусам судов, различным судовым системам, устройствам, механизмам сегодня приобретает угрожающий характер. При этом такая ситуация не обязательно связана только с увеличением среднего возраста эксплуатирующихся судов. Часто причина кроется в качестве и надёжности поставляемых комплектующих и судового оборудования, в качестве монтажа, точности соблюдения установленных технических регламентов и т.п.

В настоящее время в отечественных и зарубежных судоводных компаниях ведутся работы по выяснению причин отказов судовых технических систем и корпусов судов (СТСиК). Разнообразие существующих методов даёт уверенность, что любой отказ может быть проанализирован и будет найдена его корневая причина или причины. В поисках причин отказов, как правило, компании идут каждой своим путём, – путём наименьшего для них сопротивления, – часто поверхностно применяя существующие методы. При этом, обычно, не создаются организационно-технические системы для поиска и анализа причин отказов, применяется самый тривиальный подход. Основной задачей такого подхода является формулировка вопроса и получение на него ответа о произошедшем отказе и возможной причине этого отказа у первоисточника (лица, обнаружившего отказ). При этом причинно-логические связи по определению корневой причины выстраиваются на вопросах первого уровня, без «погружения» в вопросы второго и третьего уровней<sup>1</sup>. Практика применения такого подхода не позволяет полноценно оценить и определить влияния ключевых факторов на причину отказа. Соответственно корневая причина не может быть определена корректно, а решения, которые принимаются на основании информации, полученной при использовании данного метода, не всегда прямым образом влияют на предупреждение повторения аналогичного вида отказов [3].

### **Отказы и природа их возникновения**

Каждый отказ имеет свою природу возникновения. Для целей расследования отказов необходимо знать, существует ли зависимость данного отказа от времени эксплуатации СТСиК или отказ имеет особую причину, не связанную с длительностью эксплуатации (брак сменно-запасных частей, негативное влияние «человеческого фактора», внешнее воздействие на конструкции судна (сильный удар волны, превышение расчетных воздействий при погрузке и т.п.)).

<sup>1</sup> Вопросы второго и третьего уровня подразумевают получение ответа на вопрос «Почему это произошло?» на основании ответа на аналогичный предшествующий вопрос.

Кроме того, важно понимать какая может быть скорость развития корневой причины до отказа судна. Отказ характеризуется временем возникновения физической корневой причины ( $T_B$ ) и скоростью развития корневой причины в отказ  $\gamma = \partial U / \partial t$ , где  $U$  – степень старения, а  $t$  – время. Все эти свойства отказа необходимо определить для выработки эффективных мероприятий по его предотвращению в будущем или снижению тяжести последствий отказа.

Отказ, зависящий от времени эксплуатации, возникает вследствие протекания процессов старения, к которым относятся коррозия, износ, усталость материала корпус судна и судовых технических системах. Признаком такого отказа является то, что вероятность его появления увеличивается с увеличением длительности эксплуатации. То есть, такой отказ постепенный, накопленный и у него есть зависимость от времени эксплуатации (рис. 1). Чем больше эксплуатируется СТСиК, тем больше вероятность возникновения отказа.



Рис. 1. Схема возникновения постепенного отказа

Для постепенного отказа характерно время возникновения физической корневой причины в начальный момент эксплуатации  $T_B=0$  и определенной скоростью развития отказа  $\gamma = \gamma(t)$ .

Особая природа отказа характеризуется сочетанием неблагоприятных факторов и случайных внешних воздействий на СТСиК. Признаком особого отказа является то, что вероятность его возникновения не зависит от времени эксплуатации, то есть отказ внезапный (рис. 3).

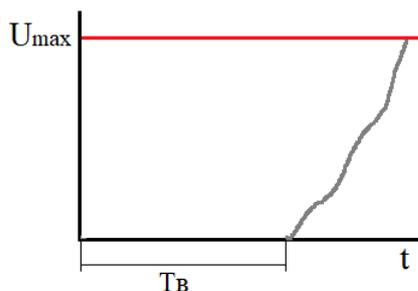


Рис. 2. Схема возникновения внезапного отказа

Для внезапного отказа характерно случайное время возникновения физической корневой причины  $T_B = T(t)$  и быстрой скоростью развития отказа  $\gamma \rightarrow \infty$ . Некоторые случайные отказы возникают при комбинации неблагоприятных факторов, которые по отдельности не привели бы к отказу.

Сложный отказ сочетает в себе комбинацию внезапного отказа и постепенного (рис. 3).

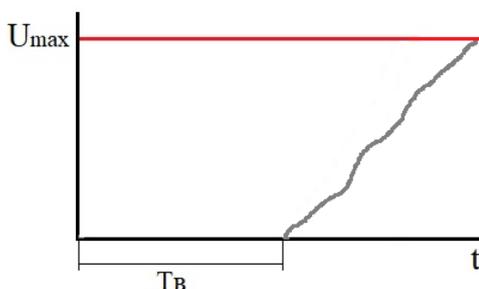


Рис. 3. Схема возникновения сложного отказа

Для сложного отказа характерно случайное время возникновения физической корневой причины  $T_g = T(t)$  и определенной скорости развития отказа  $\gamma = \gamma(t)$  [4].

### Методы, инструменты и процессы для выявления коренных причин отказов и технических недостатков ТСнК

Для того чтобы выяснить, что конкретно произошло?, почему это произошло?, понять что нужно сделать, чтобы уменьшить вероятность повторения подобного?, применяется процесс RCA (Root cause analysis) «Анализ первопричин».

Проведение анализа первопричин проводится с использованием основных инструментов [6]:

- причинно-следственный анализ;
- поиск ответов на вопрос «Почему?»;
- анализ дерева отказов;
- диаграмма Исикавы.

При всем разнообразии необходимо выбрать эффективный инструмент расследования отказов и адаптировать его под нужды компании. С целью систематизации процесса по поиску корневой причины и определения оптимального подхода к решению этой задачи, в судоходной компании «Волжское пароходство» был выбран комбинированный метод формализации. Суть метода и логика его использования пояснена схемой на рис. 4 и сводится к следующему.

Перед началом работы по созданию системы расследования отказов необходимо определить объекты влияния (активы), плотность отказов (количество отказов × время), сделать анализ внутренних информационных потоков и процессов, определить какие информационные системы используются и как в них можно интегрировать процесс расследования отказов. На основе собранной информации необходимо разработать мероприятия по изменению существующих процессов и их внедрению, сделать оценку требуемых ресурсов и сроков. С чего начать?

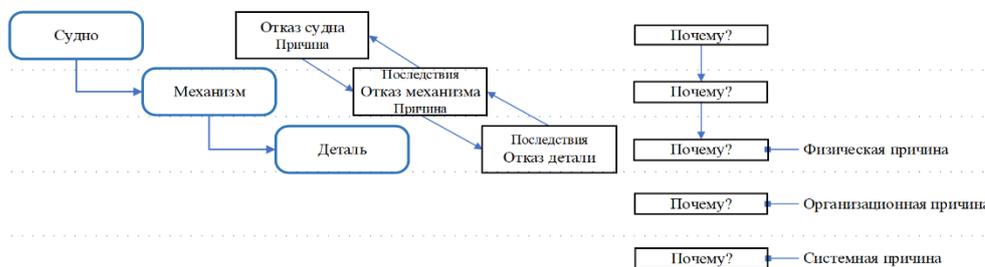


Рис. 4. Схема проведения расследования

В первую очередь необходимо подготовить информацию об отказе, связанном с техническим состоянием судовых технических систем и обеспечить систему регистрации отказов. Сбор информации осуществляется работниками или автоматически с помощью средств диагностики или контроля. Далее информация должна поступить в систему сбора данных для её регистрации. В текущих реалиях это электронная система, доступная всем задействованным пользователям на компьютерах или смартфонах.

Второе, для учёта статистики необходимо собирать и регистрировать в системе первоначальные данные об отказе, такие как идентификация судовых технических систем, даты и время начала и окончания простоя, вид отказа, а также, возможно ещё такие параметры как симптом отказа, служба и стоимость потерь. Важно обеспечить точность информации об отказе и оперативность её поступления: чем быстрее информация поступит специалисту, который занимается расследованием отказа, тем больше у него шансов собрать необходимое количество дополнительной информации.

Первоначальный сбор информации осуществляется экипажем, профильными специалистами и техническими менеджерами. Данные по эксплуатации судов заносятся в информационную систему предприятия ИС, а первоначальные данные по техническому отказу в электронную таблицу и служат отправной точкой для начала расследования отказа. Необходимая информация собирается по хронологии событий перед отказом и после отказа. Это оказывает помощь в определении причины и по ходу развития отказа.

Для определения корневой причины в нашей компании применяется комбинированный метод поиска корневой причины, основанный на инструменте «5 Почему?» Основой задачей инструмента «5 Почему?» является поиск первопричины возникновения отказа или проблемы с помощью повторения одного вопроса — «Почему?». Задаем вопрос до тех пор, пока не получим ответ (причину) на который можем повлиять. «5 почему?», конечно, очень вариативен и зависит от информации по отказу, которой обладает специалист, его знаний, опыта и методов рассуждения, но тем не менее этот инструмент достаточно эффективен в соотношении результата и затраченных ресурсов. Верификация найденной корневой причины определяется путем проверки исключения данной причины и оценки вероятности повторения отказа. Если при исключении корневой причины при соответствующих условиях, которые сопровождали отказ, он невозможен или маловероятен, то можно считать, что найденная корневая причина является таковой.

При расследовании отказа необходимо обязательно определить физическую причину. Физическая причина определяется на основе того, что физически сломалось или неисправно на самом низком уровне иерархии судовых технических систем. Физическая корневая причина, это, по сути, отказ на более низком уровне структуры. Данная причина касается только оборудования, узлов, агрегатов и не затрагивает организационные и системные причины.

Для определения организационных и системных причин отказа продолжаем задавать вопрос «Почему?». На каждом этапе, чтобы ответить на последующий вопрос «Почему?» возможно потребуются собрать дополнительную информацию. При нахождении организационной или системной причины очень важно понимать, что организационной или системной корневой причиной не может быть действие или мероприятие, которое не обязательно к выполнению и не указано в нормативно распорядительном документе компании.

До какого уровня стоит находить корневую причину? Уровень определяется возможностью эффективного влияния корневой причины на отказ для исключения его появления и смягчения последствий. Основная цель поиска корневой причины – возможность более эффективно влиять на отказ. При поиске корневой причины часто специалисты пытаются привести ход рассуждений, т.е. ответов на вопрос «Почему?»,

к желаемой или к уже определенной им корневой причине с готовым мероприятием по предотвращению отказа. Такой подход исключает поиск и правильность определения корневой причины. Поиск корневой причины сопровождается изучением разной документации: конструкция судовых технических систем, режимы и условия эксплуатации, программа технического обслуживания и ремонта, факт выполненных работ по техническому обслуживанию и ремонту, зарегистрированные технические параметры, хронология событий, рапорта, дополнительная информация и замеры. Организовываются совещания, на которых заслушиваются экспертные мнения, запрашивается дополнительная и подтверждающая информация. Для реализации процесса расследования отказов на регулярной основе проходят собрания команды по надежности флота, с обязательным участием специалистов по надежности, технических менеджеров, линейных руководителей. При необходимости приглашаются сотрудники смежных направлений и по возможности, члены экипажа судна, на котором произошёл отказ. На собрании выдвигаются гипотезы причин отказа, обсуждается необходимость сбора дополнительной информации, разрабатываются мероприятия, назначаются ответственные и сроки. В ходе всей этой работы определяется причинно-следственная связь, и в итоге находится корневая причина (или причины).

Процесс разработки мероприятий так же, как и поиск корневой причины требует понимания устройства и работы судовых технических систем, знание программы технического обслуживания и ремонта, организационных процессов компании. Формирование эффективных мероприятий во многом определяется результативностью проведенной работы по выявлению коренных причин технических происшествий, а также способствовавших их возникновению, развитию и реализации технических и организационных факторов [5]. Мероприятие должно формулироваться как разовое действие, которое интегрируется в процессы компании, иметь ответственного и срок выполнения. При разработке мероприятий следует понимать, что для отказов, имеющих случайный характер, будет не эффективна разработка мероприятий с плановым ремонтом оборудования или заменой деталей, т.к. данные мероприятия не будут снижать риск появления отказа из-за случайности его возникновения.

Разрабатываемые мероприятия, влияющие на физическую причину отказа, можно разделить на четыре группы:

- плановая замена или ремонт с установленной периодичностью;
- замена или ремонт по техническому состоянию;
- работа до отказа;
- изменение конструкции.

Мероприятия с плановой заменой или ремонтом с установленной периодичностью разрабатываются, если природа отказа имеет постепенное развитие с начала эксплуатации оборудования. Мероприятия с заменой или ремонтом по техническому состоянию разрабатываются, если есть достаточно времени в развитии отказа, чтобы произвести ремонт или замену до самого отказа. Применение диагностики позволяет своевременно обнаружить дефект и принять меры, которые не позволят ему перерасти в отказ [1]. Мероприятия с работой до отказа разрабатываются, если невозможно провести техническое обслуживание или его стоимость превышает стоимость потерь при остановке оборудования, т.е. экономически не выгодны. Мероприятия по изменению конструкции разрабатываются, если отказ нельзя допускать в будущем, но другие мероприятия не эффективны. При разработке мероприятий, влияющих на физическую коренную причину, можно применять схему, представленную на рис. 5.

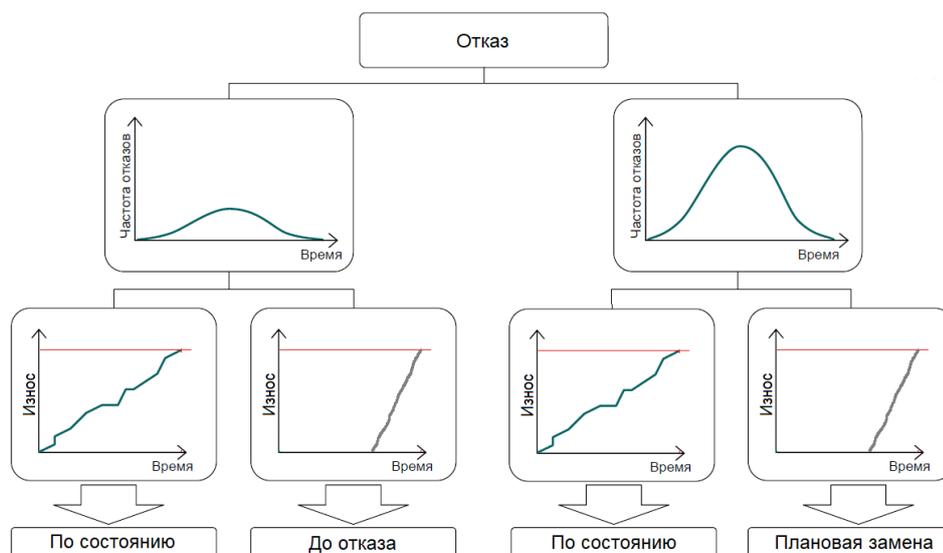


Рис.5. Схема разработки мероприятий, влияющих на физическую коренную причину отказа [2]

Мероприятия формируют стратегию обслуживания ТСиК. Принципиально важным является отслеживание всех мероприятий для выполнения их в срок.

### Заключение

Выполненная формализация процедур подготовки данных для выявления коренных причин отказов и технических недостатков корпусов судов и судовых технических систем позволяет систематизировать работу по повышению надёжности ТСиК судов, организовать процесс взаимодействия в части выявления коренных причин отказов и выработки решений по предупреждению и недопущению повторений аналогичных отказов в будущем совместными усилиями всех заинтересованных служб берегового и плавсостава. Несомненно, такой подход обеспечит рост качества принимаемых решений, тем самым способствуя повышению уровня безотказности и надёжности ТСиК. Это в свою очередь приведёт к получению экономических эффектов компании. Кроме того, описанные в статье методы, инструменты, процессы непрерывно улучшаются. В основе процесса улучшений заложен анализ результатов работы ТСиК на основании принятых ранее решений в рамках проведения анализа коренных причин возникновения отказов и других технических несоответствий в ТСиК.

### Список литературы

1. Дейнего Ю. Г. Анализ причин повреждений судовых технических средств. // Москва: ИНФРА-М, 2022 – 70 с.
2. Идхаммар К. Техническое обслуживание и надёжность, направленные на результат. // Екатеринбург: Надежная книга 2020. – 240 с.
3. Моубрэй Дж. RCM II. Техническое обслуживание, ориентированное на надёжность. // Екатеринбург: Надежная книга, 2018. – 448 с.
4. Проников А.С. Параметрическая надёжность машин // Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 559 с.
5. Сидоров, А. В. Руководство по управлению отказами оборудования / А. В. Сидоров, В. А. Сидоров. – Донецк: Издатель Александр Сидоров, 2023. – 528 с.

6. ГОСТ Р МЭК 31010-2021. Надежность в технике. Методы оценки риска : Национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Росстандарта от 24.09.2021 N 1011-ст : введен впервые : дата введения 2022-01-01 / подготовлен Закрытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (ЗАО «НИЦ КД») — Москва : Российский институт стандартизации, 2021. — 89 с.

#### References

1. Deinego Yu. G. Analysis of the causes of damage to ship technical equipment. // Moscow: INFRA-M, 2022 – 70 p.
2. Idhammar K. Results-oriented maintenance and reliability. // Ekaterinburg: Reliable book 2020. – 240 p.
3. Mowbray J. RCM II. Reliability-oriented maintenance. // Ekaterinburg: Reliable book, 2018. – 448 p.
4. Pronikov A.S. Parametric reliability of machines // Moscow: MSTU im. N. E. Bauman, 2002. – 559 p.
5. Sidorov, A. V. Guide to equipment failure management / A. V. Sidorov, V. A. Sidorov. – Donetsk: Publisher Alexander Sidorov, 2023. – 528 p.
6. GOST R IEC 31010-2021. Reliability in technology. Risk assessment methods: National standard of the Russian Federation: official publication: approved and put into effect by Order of Rosstandart dated September 24, 2021 N 1011-st: introduced for the first time: introduction date 2022-01-01 / prepared by the Closed Joint Stock Company "Research Center for Control and diagnostics of technical systems" (ZAO "National Research Center KD") - Moscow: Russian Institute of Standardization, 2021. - 89 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Казанцев Дмитрий Александрович**, заместитель генерального директора по техническому развитию-технический директор АО «Судоходная компания «Волжское пароходство», Россия, 603001, Нижний Новгород, площадь Маркина, 15А, e-mail: d.kazantsev@volgafлот.com

**Dmitry A. Kazantsev**, Deputy General Director for Technical Development - Technical Director of JSC Volga Shipping Company, Russia, 603001, Nizhny Novgorod, Markina Square, 15A, e-mail: d.kazantsev@volgafлот.com

**Бурмистров Евгений Геннадьевич**, д.т.н., профессор, профессор кафедры проектирования и технологии постройки судов, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: burmistrov\_e\_g@mail.ru

**Evenly G. Burmistrov**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Design and Technology of Ship Construction, Volga State University of Water Transport (VSUVT), 5 Nesterova str., Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: burmistrov\_e\_g@mail.ru

**Зинченко Дмитрий Федорович**, Руководитель управления надёжности АО «Судоходная компания «Волжское пароходство» Россия, 603001, Нижний Новгород, площадь Маркина, 15А, e-mail: DF.Zinchenko@volgafлот.com

**Dmitry F. Zinchenko**, Head of Reliability Department of JSC Shipping Company Volga Shipping Company Russia, 603001, Nizhny Novgorod, Markina Square, 15A, e-mail: DF.Zinchenko@volgafлот.com

Статья поступила в редакцию 19.07.2024; опубликована онлайн 20.09.2024.  
Received 19.07.2024; published online 20.09.2024.