

DOI: <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2020.14.1.159-164>

УДК 621.81 – 004.64

**В.А. Кузнецов***Одесский национальный морской университет, Украина*

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ МАЛООБОРОТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИАГРАММ ПАРЕТО**

*В статье проанализированы основные методы повышения надежности эксплуатации цилиндропоршневой группы применяемых в настоящее время для ремонта главных энергетических установок морских судов судоремонтными заводами на территории Украины, а также за ее пределами во многих странах мира. Повышение надежности главной энергетической установки морского судна в настоящее время заслуживает особого внимания, а важностью решения этих проблем подтверждается рядом государственных, отраслевых и других программ и постановлений с выделениями перспективных направлений, одним из которых является обеспечение надежной эксплуатации главной энергетической установки морского судна.*

*Долговечность двигателя зависит от выбора материала деталей, способа получения заготовок, соблюдение технологии изготовления деталей, сборки монтажа, качества топлива и масел, современного и качественного обслуживания. Высокий уровень качественного обслуживания и эксплуатации установки, согласно нормам и требованиям завода изготовителя влияет на долговечности работы деталей цилиндропоршневой группы, которые находятся в тяжелых условиях эксплуатации, а именно, высокая температура, давление, наличие коррозионной среды. Поэтому эти детали должны обладать заданной износостойкостью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью.*

***Ключевые слова:** дефект, отказ, долговечность, надежность, цилиндропоршневая группа, малооборотные двигатели, диаграмма Парето, диаграмма Исикавы.*

### **Постановка проблемы**

Безопасность плавания и обеспечение человеческой жизни на море является одной из приоритетных задач. Это, прежде всего, может быть обеспечено надежной эксплуатацией судов. Их надежность в значительной степени зависит от надежной главной энергетической установки судна.

На современных морских судах в качестве главных энергетических установок применяются малооборотные двигатели. Они обладают высокой агрегатной мощностью, простотой конструкции, экономичностью, большой маневренностью. Наибольший «удельный вес» установленных на морских судах по мощности двигателя фирмы MAN B&W и VERTSILA ZULZER, более 80% [1].

Такие двигатели состоят из большого количества деталей и узлов. Они изготовлены из разных материалов, работают в определенных средах и нагрузках.

### **Анализ последних публикаций и достижений**

Одним из важных узлов малооборотных двигателей являются детали цилиндропоршневой группы (ЦПГ МОД). Это втулки цилиндров, поршни, крышки, выпускные клапаны. Эти детали работают в тяжелых условиях при высоких температурах, давлениях, и в агрессивных средах. Отказы таких деталей содержат более 40% отказов всех деталей, узлов и механизмов главного двигателя. Учитывая то, что восстановление и ремонт таких деталей является достаточно дорогим и трудоемким, то вполне очевидно, что на эксплуатацию этих деталей необходимо обратить повышенное внимание.

### **Выделение нерешенных ранее частей проблем, которым посвящается данная статья**

От надежности эксплуатации деталей ЦПГ двигателя зависит в значительной степени надежность эксплуатации двигателей в целом, а от состояния судовой энергетической установки зависит безопасность пассажиров и экипажа судна в море.

Надежность понятие комплексное и включает в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Основные характеристики надежности судовых механизмов показаны в таблице 1. Повышению надежности ЦПГ МОД является задачей актуальной.

Целью данной статьи является методика комплексного подхода к обоснованию и реализации рекомендаций по обеспечению надежности ЦПГ МОД с применением диаграмм Парето.

### **Изложение основного материала исследования**

Эффективность эксплуатации двигателей зависит от оценки их технического состояния. Несмотря на многочисленные исследования в данной области имеются и ряд недостатков. Некоторые из них это многообразие информации при диагностировании и прогнозирование технического состояния двигателей. Разнообразие различных материалов, множество различных факторов внутренних и внешних воздействий.

Возникает необходимость в применении методов оценки технического состояния судовые малооборотных двигателей с целью повышения их эксплуатационной надежности. Важным является применение мониторинга в период эксплуатации и дистанционной диагностики с прогнозированием для оценки технического состояния двигателей. Такую работу необходимо проводить комплексно. Так на первом этапе при оценке «удельного веса» различных дефектов на эксплуатационную надежность деталей целесообразным является применение диаграмм Парето.

В начале необходимо определить причины появления дефектов в деталях и узлах. Выбрать наиболее характерные из них, провести своевременную и качественную дефектацию, определить прогнозирование их работоспособности. Различных дефектов много, при этом необходимо выявить наиболее характерные, имеющие наибольший «удельный вес». Дефекты в зависимости от их характера можно определять визуально, с помощью измерительных инструментов, а их «удельный вес» с помощью диаграмм Парето.

Основное их назначение заключается в определении значимых факторов, влияющих на соответствующий показатель. Диаграммы Парето дают возможность определить количественную оценку используемых параметров. Их достоинство состоит в наглядности и простоте решений.

Построение и исследование диаграмм Парето нужны для обеспечения эксплуатационной надежности деталей цилиндропоршневой группы малооборотный двигателей (поршней, втулок цилиндров, крышек цилиндров и выпускных клапанов).

Различают два вида диаграмм Парето:

1. По причинам.
2. По результатам деятельности.

Диаграммы Парето по результатам деятельности связаны:

- с качеством (дефект, отказ, поломки, ремонт, восстановление);
- с себестоимостью (затраты на детали, трудоемкость работ, потери);
- сроки на качество поставок необходимых материалов и деталей;
- последовательность выполнения операций.

В одинаковой степени применяются обе диаграммы Парето в зависимости от поставленных задач. Мы в своих работах будем пользоваться диаграммой Парето по результатам деятельности. [3]. Для построения диаграмм Парето необходимо:

- сбор, группировка, анализ факторов (дефектов, влияющих на исследуемый объект);
- группировка факторов по причинно-следственным блокам;
- рассмотрение факторов по «удельному весу»;
- анализ полученных результатов.

Диаграммы Парето дают возможность определить характерные дефекты по конкретным деталям и их место «удельный вес». Кроме этого необходимо знать время, ремонта и последовательность ремонта деталей в соответствии с их сборкой.

Эффективность диаграмм Парето состоит в том, что из большого числа факторов выделяются отдельные факторы, влияющие на исследуемый объект.

Простота, наглядность и точность анализа Парето позволяет правильно выявить основные проблемы для их эффективного решения. Диаграмма Парето представляет собой столбчатую диаграмму, у которой каждый столбик отражает определенный вклад в проблему отдельного фактора. На графике строится кумулятивная кривая. Диаграммой Парето можно пользоваться для анализа влияния различных дефектов на надежность ЦПГ МОД. Это позволяет делать качественную оценку повышения показателей надежности (наработку на отказ, коэффициент готовности, срок службы). На основе анализа диаграмм Парето могут быть выработаны рекомендации о влиянии различных факторов на надежность ЦПГ МОД. На основе экспериментальных данных, литературных источников и материалов с судоремонтных заводов по дефектации и ремонту ЦПГ МОД нами построены диаграммы Парето для поршней, втулок цилиндров, крышек, выпускных клапанов, и двигателя в целом.

В качестве примера покажем диаграмму Парето для основных видов отказов поршней на рис. 1 и втулок цилиндров рис. 2 двигателей MAN B&W.

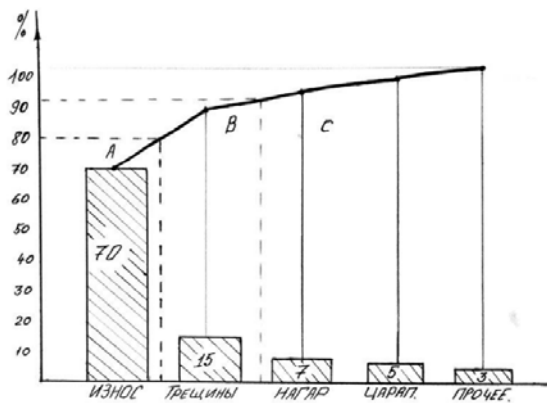


Рис. 1. Диаграмма Парето для основных видов отказов поршней двигателей V&W

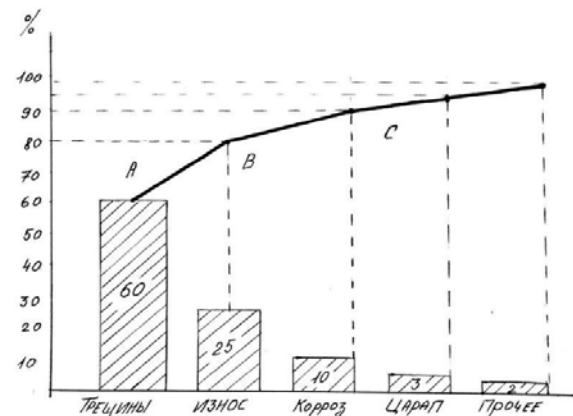


Рис. 2. Диаграмма Парето для основных видов отказов втулок цилиндров двигателей V&W

Из диаграммы видно, что для поршней основным дефектом является износ, затем трещины, а для втулок цилиндров основным дефектом являются трещины, а затем износ. Материал поршней стали, а материалы втулок чугуна. На эти факторы при ремонте необходимо обратить первостепенное значение.

При использовании диаграмм Парето наиболее распространенным методом анализа является ABC анализ. Группа А, факторы, которые приносят (70-80) % отказов. От них в основном зависит надежность эксплуатации ЦПГ МОД. Группа В, факторы, которые приносят (50-20) процент отказов. Группа С, факторы, которые приносят (5-10) % отказов. Каноническим является 80-15-5.

Вначале надо построить диаграмму Парето. Допустим мы определили много различных дефектов, эти дефекты подвергаются контролю, так как их много и на их контроль требуется много времени. Из-за длительности контроля окончательный ремонт деталей задерживается. Нужно разделить все дефекты по группам в зависимости от их «удельного веса» и построить график ABC.

ABC анализ позволяет классифицировать факторы по степени их важности. В его основе лежит принцип Парето. ABC анализ – это деление факторов на три категории. А – наиболее ценные, В – промежуточные С – менее ценные. Рис. 1, рис 2, а затем строится кривая Парето. Для крышек цилиндров основным дефектом являются трещины, а затем износ и другие дефекты. Для выпускных клапанов основным дефектом является износ тарелки клапана и штока, а также трещины и выгорания тарелки клапана.

Имея диаграмму Парето для основных видов отказов ЦПГ МОД с ABC факторами можно применять решение о выборе тех или иных технологий ремонта и восстановления для повышения их надежности. Выбирая необходимую технологию восстановления ЦПГ МОД можно увеличить их долговечность на (10-15) процентов.

Таблиця 1

Дефекты деталей ЦПГ и наработка на отказ

Детали ЦПГ МОД	Дефекты, %					Наработка на отказ. Тыс/час.
	Износ	Трещины	Коррозия	Нагар	Прочее	
Поршни	70	15	5	7	3	25-30
Втулки цилиндров	25	60	10	3	2	40-50
Крышки	35	45	5	10	5	35-40
Выпускные клапаны	55	25	5	10	5	8-10

Диаграмма Парето совместно с ABC анализом применяется для выявления главных причин отказов. Сравнивая диаграммы Парето, построенные по статистическим данным до и после увеличения долговечности деталей, оценивают эффективность принятых мер.

Для анализа факторов, влияющих на эксплуатационную надежность, диаграмму Парето целесообразно применять с причинно-следственной диаграммой Исикавы. Это помогает уяснить сущность явлений по каждому конкретному виду дефекта. Диаграмма Исикавы служит для измерения, оценивания, контроля и улучшения качества исследуемых процессов. Входит в «Семь инструментов контроля качества» [4].

Диаграмма Исикавы это графический способ определения наиболее важных причинно-следственных связей между факторами и последствиями при исследовании проблемы. Важно при этом рассматривать не только причины появления отказов, но и сами отказы с точки зрения их важности, а также время, затрачиваемое на разборку, сборку, дефектацию, технологию ремонта и восстановления. А для узлов таких как ЦПГ МОД важно учитывать последовательность разборки-сборки. Необходимо учитывать время для поиска и устранения последствий отказа. Важно учитывать и материальную сторону вопроса. В данном случае можно использовать диаграмму Парето ссылаясь на результаты эксплуатации ЦПГ МОД, объём, характер дефектов и отказов, результаты дефектации, последовательность выполнения работ, стоимость ремонта и др. Кроме этого необходимо определить причинно-следственную связь между дефектом, неисправностью и отказом. Для этого можно использовать диаграмму Исикавы.

На рис. 3 показана причинно-следственная диаграмма Исикавы с двумя уровнями.

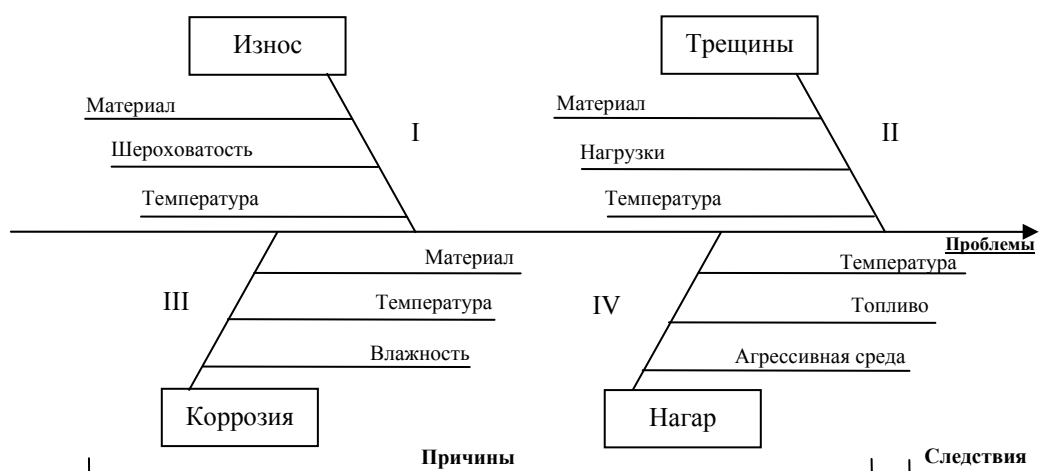


Рис. 3. Причинно-следственная диаграмма Исикавы с двумя уровнями

Проблемы обозначаются основной горизонтальной стрелкой. I-IV – обозначают главные факторы исследуемых объектов. А наклонные линии к основным обозначают детализирующие факторы. Для более детального и глубокого изучения проблемы число уровней может увеличиваться. Практически для изучения и анализа проблемы достаточно 3-4 уровня. На основании вышеизложенного разработана комплексная методика обоснования и реализации рекомендаций по обеспечению надежности ЦПГ МОД с применением диаграмм Парето.

Для решения задач использованы так же диаграммы Исикавы, которые обеспечивают системный подход к определению фактических причин возникновения проблем. Последовательность выполнения работы следующая:

- сбор и систематизация причин и факторов, влияющих на исследуемую проблему;
- группировка этих факторов смысловым и причинно-следственным блокам;
- ранжирование их внутри каждого блока;
- анализ результатов исследований;
- получение информации необходимой для принятия решений.

### Выводы

1. Определены характерные дефекты и их «удельный вес» для деталей цилиндропоршневой группы малооборотных дизелей морских судов.
2. На основе различных дефектов для деталей цилиндропоршневой группы малооборотных дизелей морских судов были построены диаграммы Парето с ABC анализом для отдельных деталей.
3. Рассмотрена методика комплексного подхода к обоснованию и реализации рекомендаций по обеспечению надежности для деталей цилиндропоршневой группы малооборотных дизелей морских судов с применением диаграмм Парето.

### Список использованной литературы

1. Возницкий И.В. Двигатели МАН В&W модельного ряда МС 50-98. Конструкция, эксплуатация, техническое обслуживание. - М.: МОРКНИГА, 2008, - 264 с.
2. Сторожев В.П. Технология судоремонта. Учебник для высших морских учебных заведений. Херсон. ОЛДИ – ПЛЮС. 2017. – 578 с.
3. Исикава. К. Японские методы управления качеством. Сокр. Пер. с английского. Под редакцией А.В. Гличева – М. :Экономика. 1998. – 214 с.
4. Ричард Кох. Принцип 80/20. Перевод на русский Эпимахов О.Н. Издательство “ЭКСМО”. 2016. – 336 с.

### References

1. Voznitsky, I.V. (2008). *Dvigately vnutrennego sgoraniya MAN B&W modelnogo ryada MC [Internal combustion engines MAN B&W MC]*. Moskva: MORKNYHA Publ. [in Russian].
2. Storojev, V.P. (2017). *Tekhnologiya sudoremonta [Ship repair technology]*. Kherson: OLDI – PLUS Publ. [in Russian].
3. Isikawa, K. (1998). *Yaponskie metodi upravleniya kachestvom [Japanese quality management methods]*. Economics [in Russian].
4. Richard, K. (2016). *Printsip 80/20 [The 80/20 principle]*. EKSMO Publ. [in Russian].

**Рецензент:** Богач В.М., кандидат технических наук, доцент, Национальный Университет «Одесская морская академия», Украина



## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЦИЛІНДРОПОРШНЕВОЇ ГРУПИ МАЛООБЕРТОВИХ ДВИГУНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ДІАГРАМ ПАРЕТО

В. Кузнецов

*У статті проаналізовано основні методи підвищення надійності експлуатації циліндропоршневої групи які застосовуються в даний час для ремонту головних енергетичних установок морських суден судноремонтними заводами на території України, а так само за її межами в багатьох країнах світу. Підвищення надійності головної енергетичної установки морського судна в даний час заслуговує на особливу увагу, а важливістю розв'язання цих проблем підтверджується рядом державних, галузевих та інших програм і постанов з виділеннями перспективних напрямків, одним з яких є забезпечення надійної експлуатації головної енергетичної установки морського судна.*

*Незалежно від того, як довго використовуються низькошвидкісні двигуни, вони повинні належним чином обслуговуватися, ремонтуватися навченим та кваліфікованим персоналом, здатним діагностувати пошкоджені частини механізму. Надійність двигуна повинна постійно підтримуватися на всіх цих етапах, оскільки безпека судноплавства залежить від якості ремонтних робіт.*

*Довговічність двигуна залежить від вибору матеріалу деталей, способу отримання заготовок, дотримання технології виготовлення деталей, складання монтажу, якості палива і масел, сучасного і якісного обслуговування. Високий рівень якісного обслуговування і експлуатації установки, згідно з нормами і вимогами заводу виробника впливає на довговічності роботи деталей циліндропоршневої групи, які знаходяться у важких умовах експлуатації, а саме, висока температура, тиск, наявності корозійного середовища. Тому ці деталі повинні володіти заданою зносостійкістю, жароміцністю, корозійну стійкістю.*

**Ключові слова:** *дефект, відмова, довговічність, надійність, циліндропоршнева група, малообертові двигуни, діаграма Парето, діаграма Ісікави.*

## INCREASING RELIABILITY OF CYLINDER-PISTON GROUP OF LOW-SPEED ENGINES USING PARETO DIAGRAMS

V. Kuznetsov

*The article analyzes the main methods of increasing the reliability of operation of the cylinder-piston group currently used for the repair of the main power plants of sea vessels by ship repair plants in Ukraine, as well as abroad in many countries of the world. Improving the reliability of the main power plant of a sea vessel currently deserves special attention, and the importance of solving these problems is confirmed by a number of state, industry and other programs and decrees highlighting promising areas, one of which is to ensure reliable operation of the main power plant of a sea vessel.*

*No matter how long low-speed engines are used, they have to be properly maintained, repaired by trained and qualified personnel who is capable of diagnosing a broken parts of the mechanism. The reliability of the engine must be maintained constantly at all these stages since the safety of the navigation of the vessel depends on the quality of the repair work, which in turn is controlled by the international maritime organization (IMO).*

*The durability of the engine depends on the choice of the material of the parts, the method of obtaining the blanks, adherence to the manufacturing technology of the parts, assembly of the assembly, the quality of fuel and oils, modern and high-quality service. The high level of quality maintenance and operation of the unit, in accordance with the standards and requirements of the manufacturer, affects the durability of the parts of the cylinder-piston group, which are in severe operating conditions, namely, high temperature, pressure, and the presence of a corrosive environment. Therefore, these parts must have a given wear resistance, heat resistance, and corrosion resistance.*

**Keywords:** *defect, failure, durability, reliability, cylinder-piston group, low-speed engines, Pareto diagram, Isikawa diagram.*