

# Системный анализ управления жизненным циклом продукта и его технического обслуживания, включая поставку ЗИП

К. Е. Миронов

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

kmironf@mail.ru

Е. Е. Карасева

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

karasseva.katusha@gmail.com

Д. А. Первухин

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

pervukhin\_da@pers.spmiru

**Аннотация.** В статье рассматривается комплексный подход к техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) промышленного оборудования, с акцентом на формирование оптимального комплекта запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП). Обосновывается баланс между достаточным запасом для бесперебойной работы и минимизацией затрат на хранение.

**Ключевые слова:** жизненный цикл изделия, ТОиР, комплект ЗИП, управление запасами, надежность, риск-ориентированный подход, FMECA, RCM, эксплуатационная документация, оптимизация затрат

## I. ВВЕДЕНИЕ

Формирование оптимального комплекта ЗИП обеспечивает баланс между наличием запчастей и

затратами на их хранение. Избыточный запас ведет к росту расходов и замораживанию средств, а недостаточный — к простоям из-за срочных закупок. Наличие нужного ассортимента позволяет проводить техобслуживание своевременно и без задержек.

## II. ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ИЗДЕЛИЯ И НОРМАТИВНАЯ БАЗА ТОиР

Исследование вопросов, связанных с ЗИП, следует начинать на самом раннем этапе жизненного цикла объекта, когда возможность влиять на конечный результат наиболее велика. Рассмотрим график затрат по этапам жизненного цикла продукции промышленного назначения в расчете на единицу оборудования, представленный на рис. 1.

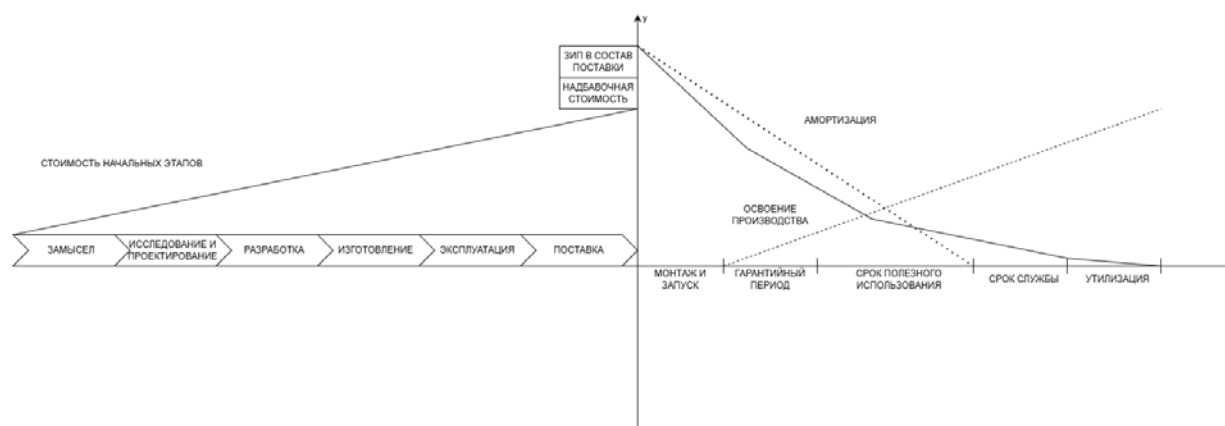


Рис. 1. Затраты по этапам жизненного цикла (ЖЦИ) продукции промышленного назначения в расчете на единицу оборудования (составлено авторами)

По оси абсцисс представлены этапы жизненного цикла, а по оси ординат — значения затрат. Значения затрат для начальных этапов жизненного цикла изделия и расходы на обеспечение функционирования системы технического обслуживания представлены на основе работ [1–2]. Данный подход обеспечивает наглядность для понимания места расходов, связанных с техническим обслуживанием оборудования и поставкой ЗИП.

Разработка и постановка продукции на производство регламентируются комплексной системой

государственных стандартов (СРПП). Эти стандарты обеспечивают техническое и организационное единство на всех этапах жизненного цикла изделия. На рис. 2–3, представленных ниже, приведены ключевые нормативные документы, на которые даются ссылки в тексте и которые определяют этапы создания продукции — от проведения исследовательских работ до постановки на серийное производство, а также устанавливают детальные требования к надежности, ремонтпригодности и эксплуатационной документации.

Обозначение ГОСТ	Наименование / Область регулирования	Основное содержание и применение согласно тексту
ГОСТ Р 15.000-2016	Система разработки и постановки продукции на производство (СРПП). Основные положения.	Определяет СРПП как комплекс стандартов, устанавливающих основные положения, правила и требования для обеспечения технического и организационного единства работ на всех стадиях жизненного цикла продукции (концепция, исследование и проектирование, разработка, производство, поставка, эксплуатация, утилизация).
ГОСТ 15.016-2016	СРПП. Техническое задание.	Относится к стадии «Исследование и проектирование», регулирует разработку технического задания (ТЗ) на продукцию.
ГОСТ 2.103-2013	Единая система конструкторской документации. Стадии разработки.	Устанавливает стадии разработки конструкторской документации, включая создание технического предложения, эскизного проекта и технического (рабочего) проекта.
ГОСТ Р 2.118-2013	Единая система конструкторской документации. Техническое предложение.	Определяет требования к содержанию и оформлению технического предложения как стадии разработки.
ГОСТ Р 2.119-2013	Единая система конструкторской документации. Эскизный проект.	Определяет требования к содержанию и оформлению эскизного проекта.

Рис. 2. Нормативные документы системы разработки и постановки продукции на производство (СРПП) (составлено авторами)

Обозначение ГОСТ	Наименование / Область регулирования	Основное содержание и применение согласно тексту
ГОСТ Р 2.120-2013	Единая система конструкторской документации. Технический (рабочий) проект.	Определяет требования к содержанию и оформлению технического (рабочего) проекта.
ГОСТ Р 15.301-2016	СРПП. Продукция производственно-технического назначения.	Регламентирует порядок разработки и постановки продукции на производство, а именно, разработку конструкторской документации на опытный образец (раздел 6) и на изделия серийного (массового) производства (раздел 8).
ГОСТ 27.003-2016	Надежность в технике. Программы обеспечения надежности.	Регламентирует системный подход к вопросам надежности, включая установление количественных значений назначенных показателей ресурса, срока службы и срока хранения.
ГОСТ Р 27.011-2019	Надежность в технике. Структурные схемы надежности и булевы методы.	Устанавливает методы анализа и обеспечения надежности продукции.
ГОСТ 23660-79	Система технического обслуживания и ремонта. Ремонтпригодность.	Определяет требования к ремонтпригодности изделия (легкость доступа, ремонта, сборки/разборки), а также к исключению ошибок персонала при техническом обслуживании и ремонте.
ГОСТ Р 27.507-2015	Надежность в технике. Комплекты запасных частей.	Устанавливает методику расчета первоначального комплекта запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП), поставляемого с изделием.
ГОСТ ИЕС 62550-2025	Надежность в технике. Обеспечение запасными частями.	Определяет принципы обеспечения запасными частями, включая нормы их расхода.

Рис. 3. Нормативные документы системы разработки и постановки продукции на производство (СРПП) (составлено авторами)

### III. УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ПРИ ВЫБОРЕ ОБОРУДОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ

Несмотря на детальную проработку технических решений, на этапе приобретения или продажи для покупателя сохраняются существенные риски. Эти риски связаны со значительным временным разрывом между моментом формулирования производителем технического задания на разработку оборудования и завершением его изготовления, а также с возможной неполнотой или неточностью информации о динамике технико-экономических показателей, параметров и характеристик, особенно для новой техники и технологий. Покупатель, как правило, старается максимально снизить эту неопределенность путем составления собственного технико-экономического обоснования инвестиционного проекта (ГОСТ 58917—2021, раздел 6). В этом обосновании он учитывает не только текущее состояние рынка техники, но и проводит тщательный анализ задач, для которых она предназначена, формирует требования, а также устанавливает требования к обеспечению диагностирования и характеристикам средств технического диагностирования. Кроме того, внимание уделяется наличию гарантийного и послегарантийного обслуживания и доступности ЗИП. В результате, на основе анализа предложений и переговоров, покупатель выбирает того поставщика, чье предложение в наибольшей степени соответствует его требованиям; то есть полностью исключить неопределенность при выборе оборудования не представляется возможным. После завершения закупки, поставки, монтажа и пусконаладочных работ на оборудовании начинается его непосредственная эксплуатация (ГОСТ 25866-83) [17]. Актом ввода в эксплуатацию фиксируется это событие и подтверждается готовность оборудования к использованию по назначению. Следует помнить, что выбор оборудования — это стратегическое решение, во многом определяющее будущие затраты предприятия на поддержание производственной инфраструктуры, включая организацию технического обслуживания, уровень квалификации персонала и качество сырья [15–16].

В состав амортизируемой стоимости входят само оборудование, первоначальный комплект ЗИП, а также расходы на подготовку и освоение производства. Затраты на техническое обслуживание и эксплуатацию оборудования относятся к общепроизводственным расходам и включаются в себестоимость продукции. Снижение этих расходов увеличивает прибыль предприятия. Однако по мере роста уровня промышленного производственного оборудования доля этих расходов в себестоимости продукции возрастает. В некоторых отраслях (например, в горнодобывающей) значительную часть материальных запасов может составлять ЗИП для содержания основных фондов, необходимых для производственного процесса.

### IV. СТРАТЕГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

Организация технического обслуживания и ремонта регламентируется ГОСТ Р 18322-2016, а требования к эксплуатационной документации установлены ГОСТ Р 2.601-2019. Ключевые определения и классификация

видов технического обслуживания согласно этим стандартам представлены на рис. 4.

Обозначение ГОСТ	Пункт	Термин/Определение
ГОСТ Р 18322-2016	2.1.3	Система технического обслуживания и ремонта.
	2.1.11	Объект технического обслуживания (или ремонта).
	2.2.9	Регламентированное (плановое) техническое обслуживание.
	2.2.10	Внеплановое (нерегламентированное) техническое обслуживание.
	2.2.12	Периодическое техническое обслуживание.
	2.2.13	Непериодическое техническое обслуживание.
	2.2.20	Профилактическое (предупредительное) техническое обслуживание.
2.2.21	Корректирующее (восстановительное) техническое обслуживание.	
ГОСТ Р 2.601-2019	Общие положения	Эксплуатационная документация.

Рис. 4. Нормативная база технического обслуживания и эксплуатационной документации (составлено авторами)

Одним из примеров технического обслуживания и ремонта по состоянию является метод, представленный в работе «Вибродиагностический мониторинг состояния дизельных двигателей в промышленных энергетических установках» [17, 19].

Определенная особенность присуща только капитальному ремонту: выполнение капитального ремонта позволяет продлить как срок службы, так и ресурс оборудования [17].

Работа системы технического обслуживания и ремонта направлена на то, чтобы снизить вероятность отказов оборудования или возникновения аварийных ситуаций. Достигается это за счет своевременных планово-предупредительных ремонтов и выполнения работ, восстанавливающих работоспособность техники [17]. Общий принцип показан на рис. 5.



Рис. 5. Интеграция службы технического обслуживания в производственный процесс (составлено авторами)

Надежность и диагностика состояния — основа, на которой строится эффективная эксплуатация оборудования [20–21].

## V. РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ПОДХОДЫ (RCM, FMECA)

Выбор метода обслуживания должен определяться его способностью снижать риск отказа оборудования и связанные с ним экономические потери. Цена такого риска — это максимально возможные убытки от

эксплуатации объекта за определенный период при нормальных условиях и заданном уровне достоверности:

$$R = P \cdot L \quad (1)$$

R – величина риска; P – вероятность выхода объекта ТО из строя; L – максимально возможные потери.

Вероятность отказа оборудования во многом зависит от срока службы и интенсивности его эксплуатации, а также от сложности самого объекта обслуживания. К этому могут добавляться ограничения в материальных, финансовых и трудовых ресурсах, что, вносит дополнительную неопределенность. По сути, риск при проведении технического обслуживания и ремонта (ТОиР) определяется потенциальными потерями рабочего времени, то есть тем, будет ли объект находиться в работоспособном состоянии в заданный промежуток времени, а если нет — то какова будет продолжительность простоя. При этом стоимость простоя — величина всегда переменная, но фактический размер убытков можно рассчитать лишь для конкретного объекта, эксплуатируемого на конкретном предприятии в конкретный временной интервал. Убытки, возникающие из-за отказа объекта, можно снизить, даже если нужного ЗИПа нет в наличии.

Планирование работ по ТОиР опирается на эксплуатационную документацию. Эти данные зачастую являются обобщенными и усредненными, поскольку на этапе производства оборудования у разработчика просто нет реальной статистики по его эксплуатации. Поэтому ключевая задача службы ТОиР — ранжировать оборудование и запчасти по степени их надежности и важности для производственного процесса, исходя из потенциального ущерба. Каждому объекту обслуживания и каждой позиции ЗИП должен быть присвоен свой уровень критичности.

## VI. РОЛЬ ИНФОРМАЦИИ И ЦИФРОВИЗАЦИИ В ТОиР

Успех работы автоматизированных систем ТОиР на предприятии напрямую зависит от того, насколько эффективно организован сбор и обработка данных о состоянии оборудования в реальных условиях эксплуатации. В пункте 4.2 ГОСТ 54089-2018 указано, что электронное дело объекта обслуживания должно включать:

Категория данных	Требуемая информация
Эксплуатационные данные	Продолжительность, условия эксплуатации, условия хранения и наработка составных частей
Данные по ремонту и техническому обслуживанию	Дата, продолжительность, трудоемкость и фактический расход материальных ресурсов
Данные о неисправностях (отказах и повреждениях)	Обстоятельства обнаружения, виды отказов, причины, последствия, способы устранения; фото и видеоматериалы (при необходимости)

Рис. 6. Состав электронного дела объекта обслуживания согласно ГОСТ 54089-2018 (составлено авторами)

Недостаточность и недостоверность данных ведет к росту рисков, поэтому к их полноте, качеству и своевременности предъявляются повышенные требования. При этом получение дополнительной информации требует затрат, поэтому необходимо искать оптимальный баланс между стоимостью этих сведений и

потенциальными потерями. Для таких случаев (когда используются нештатные источники данных) предлагается ввести коэффициент ценности дополнительной информации (CVI):

$$CVI = L + C/L_{al} \quad (2)$$

L – уровень потенциальных потерь; C – стоимость использования дополнительного источника информации;  $L_{al}$  – уровень допустимых (приемлемых) потерь.

Когда CVI больше или равен единице, получать дополнительную информацию смысла нет.

В таких случаях может применяться техническое обслуживание, ориентированное на надежность (RCM). RCM – методология оценки, основанная на анализе рисков и используемая для определения оптимальных стратегий и регламентов технического обслуживания как системы в целом, так и ее отдельных компонентов [22]. Ее цель — эффективно и результативно обеспечивать требуемый уровень безопасности, готовности и экономической целесообразности эксплуатации для всех типов оборудования. Этот подход охватывает все этапы процесса оценки риска, включая выявление рисков, их анализ и количественную оценку (ГОСТ 58771-2019, пункт В.8.5) [22].

Функциональный анализ в рамках RCM чаще всего выполняется с помощью метода анализа видов, последствий и критичности отказов (FMECA) (ГОСТ 58771-2019, пункт В.2.3). Рассматриваются те отказы, частоту и последствия которых можно уменьшить за счет регламентного обслуживания. Последствия определяются анализом эффектов отказов, а риск оценивается по частоте каждого вида отказа без выполнения обслуживания. Матрица рисков (ГОСТ 58771-2019, пункт В.9.3) позволяет установить категории риска. На основе полученных данных формируется план мероприятий по управлению каждым потенциальным отказом. Подход RCM позволяет распределять ресурсы в пользу наиболее критичных объектов, оптимизировать методы ТОиР, а также формировать и контролировать KPI для ремонтной службы [22].

К числу альтернативных подходов относятся техническое обслуживание и контроль, основанные на оценке риска (RBIM), а также управление ресурсом оборудования с учетом риска (RBLM) для промышленных предприятий (ГОСТ Р 55234.3-2013) [23].

Допустимый уровень риска определяется для каждого предприятия индивидуально — через анализ потенциальных потерь от ошибок в обслуживании, поставках или действиях персонала. Однако даже самые тщательные меры по снижению вероятности отказов не гарантируют безотказной работы оборудования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Яковенко Е.Г. Экономические циклы жизни машин. Москва: Машиностроение, 1981. 157 с.
- [2] Кантор Е.Л. Основные фонды промышленных предприятий: Учебное пособие / Е.Л. Кантор, А.И. Гинзбург, В.Е. Кантор. Санкт-Петербург: Питер, 2002. 240 с. (Краткий курс). EDN TLVFET
- [3] ГОСТ Р 15.000-2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2016. 16 с.
- [4] ГОСТ 15.016-2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению. М.: Стандартинформ, 2020. 28 с.
- [5] ГОСТ 2.103-2013. Единая система конструкторской документации. Стадии разработки. М.: Стандартинформ, 2013. 6 с.
- [6] ГОСТ 2.118-2013. Единая система конструкторской документации. Техническое предложение. М.: Стандартинформ, 2013.6 с.
- [7] ГОСТ 2.119-2013. Единая система конструкторской документации. Эскизный проект. М.: Стандартинформ, 2013. 8 с.
- [8] ГОСТ 2.120-2013. Единая система конструкторской документации. Технический проект. М.: Стандартинформ, 2013. 10 с.
- [9] ГОСТ Р 15.301-2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство. М.: Стандартинформ, 2016. 12 с.
- [10] ГОСТ 27.003-2016. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. М.: Стандартинформ, 2016. 19 с.
- [11] ГОСТ Р 27.011-2019. Надежность в технике. Вероятностный анализ риска технических систем. Оценка интенсивности конечного события для заданного исходного состояния. М.: Стандартинформ, 2019. 60 с.
- [12] ГОСТ 23660-79. Система технического обслуживания и ремонта техники. Обеспечение ремонтпригодности при разработке изделий. М.: Стандартинформ, 2006. 14 с.
- [13] ГОСТ 27.507-2015. Надежность в технике. Запасные части, инструменты и принадлежности. Оценка и расчет запасов. М.: Стандартинформ, 2015. 49 с.
- [14] ГОСТ ИЕС 62550-2025. Надежность в технике. Общие требования к обеспечению запасными частями М.: Российский институт стандартизации, 2025. 46 с.
- [15] ГОСТ Р 58917—2021. Технологический инжиниринг и проектирование. Технико-экономическое обоснование инвестиционного проекта промышленного объекта. Общие требования. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 11 с.
- [16] ГОСТ 25866-83. Эксплуатация техники. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1983. 7 с.
- [17] ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. 14 с.
- [18] ГОСТ Р 2.601-2019. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы. М.: Стандартинформ, 2019. 36 с.
- [19] Afanaseva, O., Pervukhin, D., Khatrusov, A. Vibration-Based Condition Monitoring of Diesel Engines in Industrial Energy Applications: A Scoping Review. *Energies* 2025, 18, 5717. DOI: 10.3390
- [20] Afanaseva, O., Pervukhin, D., Afanasyev, M., Khatrusov, A. Assessment of the State and Development Trends of Centrifugal Compressors for Marine Power Plants. *Energies* 2026, 19, 991. DOI: 10.3390
- [21] Митусова Т.Н., Кондрашева Н.К., Лобашова М.М., Ершов М.А., Рудко В.А. Влияние диспергирующих присадок и компонентного состава на стабильность судовых высоковязких топлив // Записки Горного института. 2017. Т. 228. С. 722-725. DOI: 10.25515/PMI.2017.6.722
- [22] ГОСТ Р 54089-2018. Интегрированная логистическая поддержка. Электронное дело изделия. Основные положения и общие требования. М.: Стандартинформ, 2018. 12 с.
- [23] ГОСТ Р 58771-2019. Менеджмент риска. Технологии оценки риска. М.: Стандартинформ, 2019. 86 с.
- [24] ГОСТ Р 55234.3-2013. Процедуры проверки и технического обслуживания оборудования на основе риска. М.: Стандартинформ, 2013. 52 с.