

# Повышение эффективности работы технологического оборудования и снижение затрат на техническое обслуживание

**Р.А. Романов**

к.т.н., директор по маркетингу и сбыту<sup>1</sup>  
romanovra@baltech.ru

<sup>1</sup>ООО «Балтех», Санкт-Петербург, Россия

**Снижение затрат на техническое обслуживание и повышения уровня надежности технологического оборудования, являются основными и приоритетными задачами любого производственного комплекса. Очень часто руководители предприятий обращаются к консалтинговым компаниям для теоретического расчета необходимых ежегодных затрат на производство, ремонт и диагностику технологического оборудования. Обращаем внимание, что чаще всего все необходимые знания для повышения эффективности и рентабельности производства есть у опытных специалистов Вашего предприятия, используйте внутренние ресурсы.**

## Материалы и методы

Методы технической диагностики и неразрушающего контроля.

## Ключевые слова

надежность, техническая диагностика, неразрушающий контроль, оптимизация производства

Современный уровень развития технологий промышленных предприятий предъявляет высокие требования к надежности оборудования, а также эффективной и экономичной работе технологического оборудования при минимальных затратах времени и средств. Ситуация, сложившаяся в различных отраслях промышленности с системой технического обслуживания и ремонта (далее ТОиР) не однозначна.

В связи с оптимизацией технологических процессов, реструктуризацией всех секторов промышленности и внутренних подразделений предприятий на первое место выходят два ключевых фактора — это используемое технологическое оборудование и система ТОиР имеющегося оборудования. В связи с финансовыми трудностями используемое технологическое оборудование обновить не возможно, поэтому система ТОиР во всех отраслях промышленности выходит на приоритетное первое место. Эта проблема напрямую оказывает влияние на эффективную деятельность предприятий.

Для нивелирования проблем и определения подходов к организации структуры (отдела) техобслуживания промышленного оборудования необходимо определить ключевые факторы обеспечивающие надежность и работоспособность машин и механизмов (например: динамического оборудования — насосов, вентиляторов, электродвигателей, редукторов, компрессоров и пр.).

Надежность оборудования базируется на обязательном применении новейших средств, методов контроля и наладки промышленного оборудования и требует комплексного подхода к решению инженерно-технических проблем.

Работоспособность машин и механизмов (т.е. способность удовлетворять заданным техническим характеристикам в течение определенного момента времени) и восстановление их основных характеристик обеспечивается на предприятиях установленной системой ТОиР.

Согласно ГОСТ 28.001-83 целью системы ТОиР является управление техническим

состоянием изделий в течении всего срока их службы (или ресурса до списания), позволяющее обеспечить заданный высокий уровень их готовности к использованию по назначению и работоспособности в процессе эксплуатации при минимальных затратах как времени, так и средств на выполнение ТОиР изделий.

Усилия системы ТОиР должны быть направлены на повышение коэффициента использования оборудования, который согласно ГОСТ 13377-75 описывается следующим уравнением:

$$K_T = \frac{t_{сум}}{t_{сум} + t_p + t_{мо}} \quad (1.1.)$$

где  $t_{сум}$  — наработка в часах;  $t_p$  и  $t_{мо}$  — время всех простоев, вызванное необходимостью ремонта и технического обслуживания объекта.

Логично предположить, что для того чтобы повысить  $K_T$  следует увеличить наработку и уменьшить время простоев оборудования, как в ремонте, так и при техническом обслуживании. В тоже время качество проведенного технического обслуживания может уменьшить количество ремонтов, и соответственно качество проведенного ремонта влияет на продолжительность межремонтного интервала.

## Пять подходов к организации техобслуживания и ремонта

Если Вы достаточно долго работаете в промышленности, то, возможно, наблюдали все различные формы технического обслуживания. Способы работы обслуживающих или ремонтных подразделений, обычно относятся к пяти различным категориям:

- 1) Реактивное (реагирующее) профилактическое обслуживание (РПО);
- 2) Обслуживание по регламенту или плано-профилактическое обслуживание (ППР);
- 3) Обслуживание по фактическому техническому состоянию (ОФС);
- 4) Проактивное или предотвращающее обслуживание (ПАО);

ФОРМА ТОиР	ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ
Реактивное обслуживание (затраты 1000 р. на 1 кВт в год)	Ремонт или замена оборудования только в случае выхода из строя, либо полной выработки ресурса
Плано-профилактическое обслуживание (затраты 800 р. на 1 кВт в год)	Плано-периодическое проведение профилактических работ, составление и соблюдение календарного графика
Обслуживание по фактическому состоянию (ОФС) (затраты 500 р. на 1 кВт в год)	Обслуживание только дефектного оборудования в сочетании с профилактикой внеплановых остановов
Проактивное обслуживание (затраты 350 р. на 1 кВт в год)	Продление межремонтного интервала и интервала между обследованиями
Концепция «Технологии надежности»	Смешанная стратегия

Таб. 1 — Формы технического обслуживания и ремонта

5) Концепция «Технологии надежности» (комплексный подход к анализу и обслуживанию)

### Достоинства и недостатки форм ТОиР

Далее представлена сводная таблица (таб. 2) из которой видно, что у каждой из представленных форм ТОиР есть свои достоинства и недостатки.

Как показывает практика, не существует предприятий, использующих только одну из представленных стратегий управления системой ТОиР. Более того, переход от системы ППР к системе ОФС сопряженный с перестроением всей структуры ТОиР, во многих случаях приводит к обратному эффекту — обратному «скатыванию» на ППР. Причина этого в несогласованности планирования действий отдельных подразделений предприятия, нехватке специально подготовленного персонала и слабом техническом оснащении ремонтных служб.

Сам переход на передовые формы ТО (ОФС и ПАО) невозможен без постановки грамотной службы технической диагностики. Неверно также утверждение, что идея ОФС состоит в устранении отказов оборудования путем выявления имеющихся или развивающихся дефектов только по совокупности виброакустических характеристик. Системы ОФС и ПАО должны базироваться на обязательном использовании целого ряда методов технической диагностики и распознавания технических состояний, которые в сочетании позволяют определить весь спектр дефектов, возникающих в технологическом оборудовании предприятия. Концепция «Надежное оборудование» это концептуальный подход к постановке эффективной системы технического обслуживания и ремонта промышленного оборудования базирующийся на глубоком исследовании, как физических причин его аварийных отказов, так и выявлении пробелов в организационной структуре. Разработанный алгоритм решения проблемы повышения надежности оборудования позволяет гарантировать экономически эффективные результаты, связанные с корректным переходом на концептуальное обслуживание, подходящее данному предприятию.

### Концепция «Технологии надежности» (комплексный подход в надежности оборудования)

После проведенного анализа ТО понятно, что в зависимости от отрасли и специфики предприятия должны использоваться в совокупности все формы ТО в разных пропорциях и только в этом случае будет достигнут максимальный экономический эффект. Далее мы привели пример первого этапа технического аудита, проведенного на одном из предприятий на Северо-Западе России.

За 100% взято 100 единиц динамического оборудования. После аудита было выявлено, что даже новое оборудование, установленное силами РМЗ имеет пониженный начальный коэффициент надежности из-за неправильного проектного технического задания, неправильной транспортировки, плохих и продолжительных условий складского хранения и низкого уровня монтажных работ вентиляционных агрегатов на несоответствующий нормам СНиП фундамент.

### Основные этапы внедрения концепции «Технологии надежности»

Внедрение данной концепции состоит из 6 основных этапов. Каждый из перечисленных ниже этапов основан на решении проблем (задач) предыдущего уровня с целью наиболее полной его проработки.

#### Этап 1. Выявление проблемы

Определение проблемы повышения надежности оборудования является основополагающим этапом ее решения. Глубина подхода на данном этапе определяет экономический эффект от внедрения настоящей программы.

Индивидуальный подход к решению проблемы определяется набором инструментов, используемого для ее выявления и исследуемых ключевых моментов.

В качестве инструментов может быть использована комплексная оценка положения проведенная подготовленными техническими аудиторами собственной группы надежности (отдел технической диагностики и неразрушающего контроля (ТДиНК), либо

оценка, проведенная специалистами подрядной сервисной организации.

В качестве исследуемых ключевых моментов может быть произведен профессиональный аудит:

- общего технического состояния оборудования;
- анализ повторяющихся отказов/сбоев работоспособности оборудования;
- уровня технологии средств используемого для технического обслуживания оборудования;
- уровня квалификации штатного персонала или уровень подрядной организации;
- вида используемого на предприятии технического обслуживания
- особых моментов используемого вида технического обслуживания;
- уровня общей эффективности предприятия, включая производительность оборудования, затраты на закупку запчастей и техническое обслуживание;
- общего уровня производственной культуры и наличие системы качества;
- система закупки, транспортировки и складского хранения оборудования и др.

#### Этап 2. Разбиение проблемы на составляющие

После выявления степени и величины суммарной проблемы повышения надежности оборудования следует произвести разбивку на ее составляющие. Определение составляющих общей проблемы проводится по каждому из исследуемых ключевых моментов.

Результатом данного этапа должно быть выявление слабых мест структуры предприятия в целом (например документирование и паспортизация).

#### Этап 3. Определение стратегии и план решения проблемы

Стратегия решения проблемы повышения надежности оборудования определяет степень и уровень локализации опасных моментов. Она может быть частичная (удаление только наиболее проблемных аспектов), либо полная (комплексная).

Важно определить что подлежит

Форма ТОиР	ДОСТОИНСТВА	НЕДОСТАТКИ
РПО	Не требует больших финансовых вложений на организацию и техническое оснащение службы ТОиР	Высокая вероятность внеплановых простоев из-за внезапных отказов приводящая к дорогостоящим и продолжительным ремонтам.
ППР	Система хорошо развита, имеет отработанную методологическую основу и позволяет поддерживать заданный уровень исправности и работоспособности оборудования	Базируется на статистических данных историй отказов аналогичного оборудования с заложенным коэффициентом надежности, следовательно, для обеспечения заданного уровня его работоспособности изначально планируется объем работ превышающий требуемый фактически. Статистическая наработка не исключает полностью вероятность внепланового отказа.
ОФС	Исключает вероятность аварийных отказов и связанных с ними внеплановых простоев оборудования. Позволяет прогнозировать объемы технического обслуживания и производить ремонт исключительно дефектного оборудования	Может быть осуществлена только посредством постепенного перехода от системы ППР и требует полного пересмотра организационной структуры. Требуется первоначально больших финансовых вложений для подготовки специалистов и технического оснащения службы ТОиР.
ПАО	Максимальное увеличение межремонтного срока за счет подавления источников отказов. Используются самые прогрессивные технологии технического обслуживания, ремонта и восстановления оборудования.	Требуется трудоемкий анализ всех отказов с целью выявления их источников. Очень гибкая организационная система, постоянно требующая оперативного решения и внедрения ряда мероприятий.

Таб. 2 — Достоинства и недостатки форм ТОиР

корректировке: причина или следствие проблемы и/или что устранять в первую очередь.

Стратегия и план решения проблемы определяется предприятием на основе предложения аудиторов отдела ТД и НК.

#### Этап 4. Выбор надежных средств технических решений и разработка программы повышения квалификации специалистов

Выбор средств технических решений определяется целесообразностью их использования на основе расчета экономического эффекта от их внедрения. При расчете необходимо руководствоваться выбранными критериями и требованиями к уровню надежности 1R, 2R или 3R. Выбор средств технических решений определяется предприятием на основе предложений опытных технических специалистов данного предприятия и концепции, разработанной группой технических аудиторов. Разработка внутреннего стандарта надежности и сертификация по стандарту «Технологии надежности» должны проходить (рекомендация) на основе процессного подхода 3R (ответственные и полномочия, политика надежности и ресурсы, и др.).

#### Этап 5. Комплексное решение проблемы

На основе 3 и 4 этапов программы формируется комплексное решение проблемы повышения надежности оборудования. Если предприятие сертифицировано по системе менеджмента качества, то менеджером отвечающим за качество продукции необходимо сделать коррекцию во внутреннем руководстве по качеству с учетом требований технического подразделения (например: отдела главного механика или главного энергетика).

Внедрение комплексного решения или сертификация по стандарту «Технологии надежности» происходит при помощи аттестованных внутренних или внешних аудиторов.

#### Этап 6. Контроль результатов внедрения программы

Процесс оценки уровня надежности оборудования, корректировка и внедрение улучшений должно происходить с утвержденной периодичностью не зависимо от достижения поставленного уровня надежности.

Удовлетворенность потребителя (внутренний потребитель оборудования — это технологи) от внедрения программы должно иметь самую важную роль, именно поэтому очень важен контроль, анализ и улучшение результатов по повышению надежности оборудования.

Вся концепция должна внедряться в соответствии с требованиями технического надзора в области экспертизы промышленной безопасности опасных производственных объектов (при наличии технического надзора).

За основу как мы видим должен быть взят коллектив отдела ТД и НК. Давайте рассмотрим эти понятия подробнее.

Техническая диагностика — это установление и изучение признаков, характеризующих наличие дефектов в машинах (узлах), для предсказания возможных отклонений в режимах их работы. Из определения видно, что процедура изучения (анализа) признаков дефектов должна документироваться всегда.

Далее определим основные задачи ТД и основные направления необходимых работ НК и обеспечения надежности.

Опираясь на основные достижения средств ТДиНК необходимо провести оптимизацию контролируемых параметров по нескольким критериям (например все диагностические и ремонтные данные хранятся в компьютеризированной системе управления системы ТОиР). Надо определить необходимые и достаточные условия по выбору аппаратных средств функциональной и тестовой диагностики в зависимости от выбранных методов прогноза технического состояния промышленного оборудования, а также инструментов и форм документов удобных для анализа (например, приборы центровки, динамической балансировки, виброанализаторы, пирометры, тепловизоры, индукционные нагреватели, стенд входного контроля подшипников качения, съемники, стационарные системы контроля работают по регламенту единой автоматизированной базы данных). Необходимо определить пороги для конфигурации глубины развивающихся дефектов и установить величину опасной зоны. При этом необходимо понимать различие между мониторингом и диагностикой не зависимо каким видом систем вы будете пользоваться (переносные, стендовые или стационарные).

**Мониторинг** — распознавание текущего технического состояния механизма:

- сравнение диагностических параметров с пороговыми значениями;
- прогноз изменений диагностических параметров.

**Диагностика** — выявление причин и условий, вызывающих неисправности, и принятие обоснованных решений по их устранению:

- определение вида и величины каждого дефекта;
- сравнение величины дефекта с пороговыми значениями;
- прогноз развития (выявление остаточного ресурса).

В зависимости от состояния оборудования: нерабочее, частично рабочее (эксплуатация только на нагрузках ниже номинальных) и рабочее, утверждают этапы и виды измерений.

#### Этапы проведения диагностических измерений

- После монтажа или ремонта;
- После завершения приработки или в процессе эксплуатации;
- После нарушения технологического режима;
- Перед остановкой на ремонт.

#### Виды диагностических измерений

Диагностические измерения и исследования оборудования можно условно разделить на два вида:

1. Контрольные измерения:
  - текущее;
  - полное.
2. Специальные измерения.

На сегодняшний момент одним из основных регламентирующих международных стандартов для определения критериев оценки диагностического (вибрационного)

состояния машин и механизмов различных типов является ГОСТ ISO 10816. Настоящий стандарт является базовым документом для разработки руководств по измерению и оценке вибрации машин. Критерии оценки для машин конкретных типов должны быть установлены в соответствующих отдельных стандартах. В таблице приведены только временные, примерные критерии, которыми можно пользоваться при отсутствии подходящих нормативных документов. По ней можно определить верхние границы зон, выраженные в средних квадратических значениях виброскорости  $v_{rms}$ , мм/с, для машин различных классов:

- **Класс 1** — Отдельные части двигателей и машин, соединенные с агрегатом и работающие в обычном для них режиме (серийные электрические моторы мощностью до 15 кВт являются типичными машинами этой категории).
- **Класс 2** — Машины средней величины (типовые электромоторы мощностью от 15 до 875 кВт) без специальных фундаментов, жестко установленные двигатели или машины (до 300 кВт) на специальных фундаментах.
- **Класс 3** — Мощные первичные двигатели и другие мощные машины с вращающимися массами, установленные на массивных фундаментах, относительно жестких в направлении измерения вибрации.
- **Класс 4** — Мощные первичные двигатели и другие мощные машины с вращающимися массами, установленные на фундаментах, относительно податливых в направлении измерения вибрации (например, турбогенераторы и газовые турбины с выходной мощностью более 10 МВт).

Очень приятно, что во всех отраслях промышленности работают основные три ключевых фактора определяющих общий успех предприятия:

- общее понимание необходимости процесса преобразований руководителями (постановка задачи и выбор варианта решения технических задач);
- стремление к внедрению новых прогрессивных технологий и современных аппаратных средств;
- желание поддерживать процессы внедрения новых технологий и качественно новой культуры технического обслуживания оборудования и работы в целом.

Мы желаем благополучного развития всем предприятиям и оптимизировать затраты на ремонт используя многолетний статистику и опыт собственных специалистов.

#### Итоги

Разработана новая концепция «Технологии надежности».

#### Выводы

Снижение затрат на техническое обслуживание и повышения уровня надежности технологического оборудования возможно реализовать с помощью многих прогрессивных стратегий. В развитых странах давно применяю стратегию ТРИЗ (теорию решения инженерных задач), стратегию «Бережливое производство», стратегию «Технологии надежности», а также разные формы периодического технического аудита и консалтинга. Самое главное на первом этапе необходимо

четко определить цели и задачи оптимизации производства, например, снижение финансовых издержек, создание оптимальной сервисной стратегии или повышение надежности работы технологического оборудования. Процессы внедрения улучшений на

предприятиях являются бесконечными и необходимыми, но только привлекая собственный опыт и статистические данные всех подразделений возможно получать оптимальные результаты и быть конкурентоспособным на рынке.

#### Список используемой литературы

1. Романов Р.А., Севестьянов В.В. Организация отдела надежности для эффективной системы ремонта // IORS:2020. 2009. № 3. С. 23–28.

ENGLISH

DIAGNOSTICS

## Efficiency improvement of production equipment and cost reduction for maintenance

UDC 620.1

#### Authors:

**Roman A. Romanov** — doctor of science, director of marketing and sales<sup>1</sup>; [romanovra@baltech.ru](mailto:romanovra@baltech.ru)

<sup>1</sup>Baltech LTD, St. Petersburg, Russian Federation

#### Abstract

Cost reduction for maintenance and improvement of reliability of production equipment are the main and priority tasks for each production line. Very often factory managers address to consulting companies for theoretical calculation of essential annual costs for production, repair and diagnostics of industrial equipment.

Please note that in most cases all the necessary knowledge to improve the efficiency and profitability of production have experienced your company, use internal resources.

#### Materials and methods

Methods of technical diagnostics and

non-destructive testing.

#### Results

Developed a new concept of Reliability Technologies.

#### Conclusions

Reduced maintenance costs and increase the reliability of the process equipment can be implemented using a variety of advanced strategies. In developed countries have long used the strategy of TRIZ (Theory of engineering problems), the strategy of "lean manufacturing" strategy "Technology security" as well as various forms of periodic technical audit and consulting.

The most important thing in the first stage it is necessary to clearly define the goals and objectives of the optimization of production, for example, reducing the financial costs, the establishment of an optimal service strategy or increasing the reliability of the process equipment.

Process of implementing improvements in enterprises are infinite and necessary, but only by using their own experience and statistics of all units is possible to obtain the best results and to be competitive in the market.

#### Keywords

reliability, technical diagnostics and nondestructive control, production optimization

#### References

1. Romanov R.A., Sevastianov V.V. *Organizatsiya*

*otdela nadezhnosti dlya effektivnoy sistemy remonta* [Organization of the division

of reliability for effective system repair]. IORS:2020, 2009, issue 3, pp. 23–28.

## ИНЖИНИРИНГОВЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ EPLAN 2014



Уважаемые дамы и господа!  
Приглашаем вас посетить  
Инжиниринговые конференции EPLAN 2014:

**г. Санкт-Петербург – 16.09.2014**

Гостиница «Сокол», Батайский переулок, д. 3А

**г. Москва – 18.09.2014**

Центр международной торговли, Краснопресненская наб., д. 12

**г. Екатеринбург – 24.09.2014**

БЦ «Континент», пр. Ленина, д. 50 Б

**г. Новосибирск – 07.10.2014**

Гостиница «Новосибирск», Вокзальная магистраль, д. 1

Для участия  
в конференции  
необходимо заполнить  
регистрационную  
форму на нашем сайте:

[www.eplan-russia.ru](http://www.eplan-russia.ru)

**Участие в конференциях бесплатное!**

Информационная  
поддержка:



**National Enterprise  
Management**

КОНСАЛТИНГ

РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИНЖИНИРИНГА

ТРЕНИНГ

УСЛУГИ