

Техническое обслуживание
промышленного оборудования
для технологического персонала

Оглавление

Введение	4
Перечень ссылок.....	5
1. Система технического обслуживания и ремонтов оборудования	6
1.1. Система технического обслуживания и ремонтов оборудования предприятия. 6	
1.2. Стратегии технического обслуживания и ремонтов оборудования	7
1.3. Проактивная стратегия технического обслуживания и ремонтов оборудования	10
1.4. Способы организации ремонтного обслуживания производства	13
1.5. Критерии оценки эффективности ремонтного обслуживания производства ...	14
1.6. Аварийность.....	15
Перечень ссылок.....	16
Вопросы для контроля	17
2. Понятие о техническом обслуживании оборудования	18
2.1. Техническое обслуживание как ключевое звено в обеспечении безопасной и безаварийной эксплуатации оборудования	18
2.2. Задачи технологического персонала по техническому обслуживанию закреплённого оборудования в соответствии с «Правилами технической эксплуатации механического оборудования»	18
Перечень ссылок.....	21
Вопросы для контроля	21
3. Современные концепции технического обслуживания оборудования	22
3.1. ТРМ.....	22
3.2. Бережливое производство	23
3.3. Система 5S	24
3.4. Кайдзен.....	24
Перечень ссылок.....	25
Вопросы для контроля	26
4. Общие сведения о механическом оборудовании.....	26
4.1. Стадии жизненного цикла оборудования	26
4.2. Основные элементы механических систем	27
4.3. Понятие об исправности и работоспособности	28
4.4. Аксиомы работоспособного состояния оборудования	28
4.5. Классификация оборудования по степени влияния на технологический процесс	29
Перечень ссылок.....	30
Вопросы для контроля	30
5. Методы оценки технического состояния оборудования	30
5.1. Общее понятие об оценке технического состояния оборудования	30
5.2. Методы оценки технического состояния оборудования.....	31
5.3. Порядок и особенности проведения визуального осмотра оборудования.....	31
Перечень ссылок.....	35
Вопросы для контроля	36
6. Органолептические методы оценки технического состояния оборудования. 36	
6.1. Шумы механизмов	36
6.2. Вибрация механизмов.....	38
6.3. Контроль температуры механизмов.....	40

6.4. Дополнительные методы оценки технического состояния оборудования	42
Перечень ссылок.....	45
Вопросы для контроля	45
7. Виды износа и поломки деталей.....	46
7.1. Виды механического износа	46
7.2. Виды разрушений и изломов	49
7.3. Повреждения подшипников качения	51
7.4. Повреждения зубчатых передач	59
Перечень ссылок.....	65
Вопросы для контроля	65
8. Сборка узлов и механизмов.....	65
8.1. Сборка и разборка шпоночных и шлицевых соединений.....	65
8.2. Сборка и разборка резьбовых соединений	67
8.3. Сборка и разборка узлов подшипников качения	68
8.4. Сборка валов и зубчатых колёс	72
8.5. Центрирование валов.....	74
Перечень ссылок.....	75
Вопросы для контроля	76
9. Смазка металлургических машин	76
9.1. Виды смазывания	76
9.2. Классификация смазочных материалов.....	77
9.3. Характеристики, особенности, способы подачи и контроля пластичных смазочных материалов.....	77
9.4. Характеристики, особенности, способы подачи и контроля жидких смазочных материалов	80
9.5. Проверка качества подачи смазочных материалов и продуктов износа в смазке	82
9.6. Уплотнение подвижных соединений	82
9.7. Нарушение смазывания как причина отказов оборудования	85
Перечень ссылок.....	87
Вопросы для контроля	87
10. Правила технической эксплуатации типовых деталей, узлов и механизмов.....	88
10.1. Фундаменты	88
10.2. Резьбовые соединения	89
10.3. Шпоночные соединения	90
10.4. Соединительные муфты	90
10.5. Тормозные устройства.....	91
10.6. Подшипники качения.....	93
10.7. Подшипники скольжения	94
10.8. Зубчатые передачи и редукторы.....	95
10.9. Цепные передачи.....	97
10.10. Гидравлические и пневматические цилиндры	97
10.11. Прочие типовые элементы оборудования	98
Перечень ссылок.....	99
Вопросы для контроля	99

Введение

В большинстве случаев миссией современного предприятия (фирмы) считается производство продукции (услуг) для удовлетворения потребностей рынка и получения максимально возможной прибыли [1].

Для промышленного предприятия выполнение указанного достигается посредством производства конкурентоспособной продукции путём реализации заданного технологического процесса. Возможность выполнения последнего с минимальными затратами и на требуемом уровне качества во многом определяется техническим состоянием эксплуатируемого оборудования.

Необходимыми условиями нормального протекания производственных процессов на предприятии следует считать: постоянное поддержание в рабочем состоянии машин и оборудования, других средств труда [1]. Обеспечение работоспособного состояния машин и механизмов — основная задача ремонтной службы (РС) промышленного предприятия, которая достигается за счёт своевременного и качественного проведения технического обслуживания и ремонтов (ТОиР) [2].

Ремонтное обслуживание производства осуществляется РС в рамках принятой на предприятии системы ТОиР. Организация эффективной системы ТОиР, отвечающей высоким требованиям, выдвигаемым современными рыночными условиями, является *актуальной* задачей, решение которой насущно необходимо для обеспечения конкурентоспособности предприятия.

В соответствии с современной концепцией общепроизводственного обслуживания оборудования ряд функций по техническому обслуживанию (ТО) возлагается на технологический персонал, непосредственно эксплуатирующий оборудование.

Целью данного курса является повышение квалификации технологического персонала промышленных предприятий с целью обеспечения возможности полноценного и качественного выполнения операций по ТО оборудования путём обучения основам управления производственными активами, технической диагностики, слесарного дела, а также правилам технической эксплуатации механического оборудования.

В общем случае курс рассчитан на 28 часов теоретического обучения и 2 часа практической тренировки действиям по выполнению технического обслуживания закреплённого оборудования для каждого слушателя ([таблица 1](#)). Обучение завершается квалификационным экзаменом, включающим проверку знаний в объёме учебной программы.

Таблица 1 — Тематический план обучения

Номер темы	Наименование темы	Количество часов
1	Система технического обслуживания и ремонтов оборудования	2
2	Понятие о техническом обслуживании оборудования	2
3	Современные концепции технического обслуживания оборудования	2
4	Общие сведения о механическом оборудовании	2
5	Методы оценки технического состояния оборудования	2
6	Органолептические методы оценки технического состояния оборудования	2
7	Виды износа и поломок деталей	2
8	Сборка узлов и механизмов	4
9	Смазка металлургических машин	4
10	Правила технической эксплуатации типовых деталей, узлов и механизмов	6
Тренинг	Действия по выполнению технического обслуживания закреплённого оборудования	по 2 на каждого слушателя

Перечень ссылок

1. Экономика предприятия: Учебник / Под общ. ред. д.э.н., проф. С.Ф. Покропивного. — К.: КНЕУ, 2003. — 608 с.
2. [Механическое оборудование: техническое обслуживание и ремонт](#) / В.И. Бобровицкий. [В.А. Сидоров](#). — Донецк: Юго-Восток, 2011. — 238 с.

1. Система технического обслуживания и ремонтов оборудования

1.1. Система технического обслуживания и ремонтов оборудования предприятия

Под *системой ТОиР* подразумевается совокупность взаимосвязанных средств, документации и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества изделий, входящих в эту систему [1].

В качестве *целей* системы ТОиР определены следующие [2]:

- поддержание оборудования в работоспособном состоянии в течение всего срока эксплуатации;
- обеспечение надёжной работы оборудования;
- обеспечение производительности и качества выпускаемой продукции;
- выполнение требований по охране труда и защите окружающей природной среды.

Организация системы ТОиР предприятия осуществляется на основе принятия (явным образом или в соответствии со сложившейся практикой) решений по следующим *фундаментальным вопросам* (рисунок 1.1):

- выбор стратегии ТОиР оборудования;
- определение способа организации ремонтного обслуживания производства;
- разработка критериев оценки эффективности ремонтного обслуживания производства.

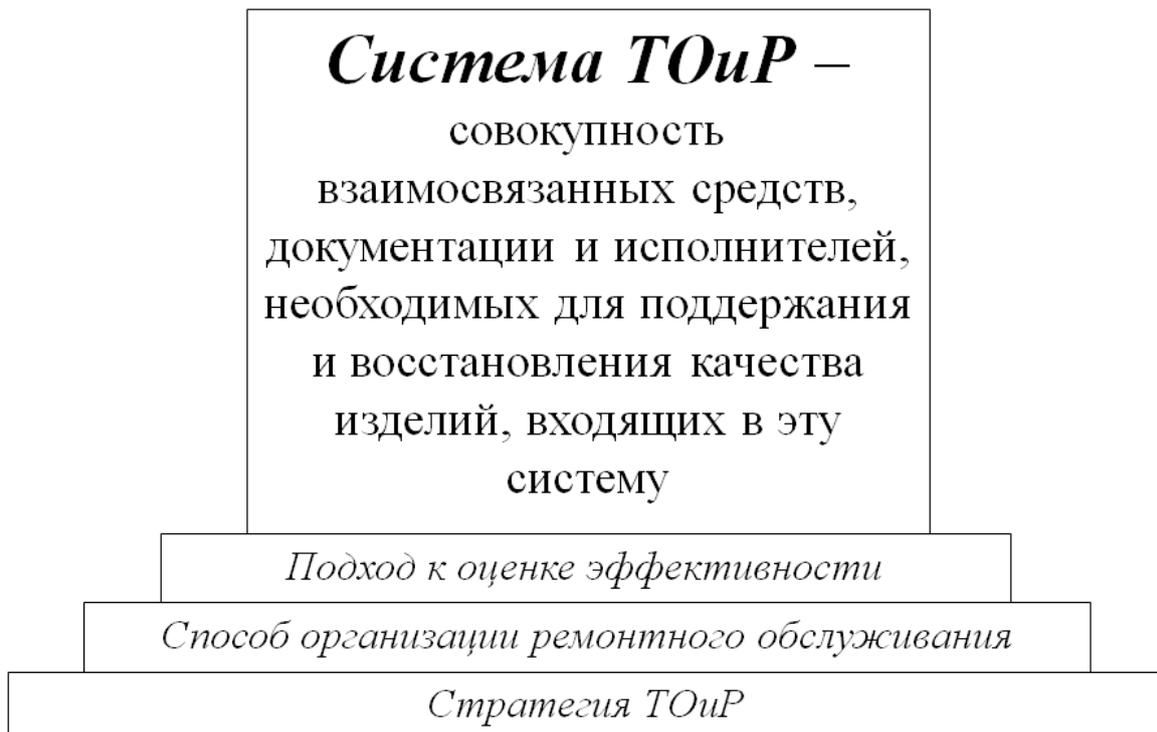


Рисунок 1.1 — Фундаментальные вопросы при организации системы ТОиР

1.2. Стратегии технического обслуживания и ремонтов оборудования

Под *стратегией ТОиР* подразумевается обобщающая модель действий, необходимых для достижения поставленных целей путём координации и распределения соответствующих ресурсов предприятия [3]. По существу, стратегия ТОиР есть набор правил для принятия решений, которыми ремонтная служба (РС) предприятия руководствуется в своей деятельности по обеспечению работоспособности оборудования.

Краткая характеристика основных стратегий ТОиР приведена в таблице 1.1 [4].

Таблица 1.1 — Краткая характеристика основных стратегий ТОиР

<i>Модель информационного обеспечения</i>	<i>Характер осуществляемых мероприятий</i>	
	РЕАКТИВНЫЕ	ПРЕВЕНТИВНЫЕ
СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ (на основе вероятностных, статистических показателей)	<i>I. Эксплуатация до отказа:</i> * максимальное использование ресурса оборудования; + минимальные затраты на содержание РС; – отказы и затраты по ликвидации аварий велики и непредсказуемы.	<i>II. Планово-предупредительные ремонты (ППР):</i> * фиксированная вероятность аварийных отказов; + наилучшее условия для планирования ТОиР; – значительные затраты на ТОиР из-за замены работоспособных узлов и деталей.
ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ (на основе сведений о фактическом техническом состоянии (ТС) оборудования)	<i>III. По ТС:</i> * информационное обеспечение процесса принятия решений о ТОиР; + близкое к полному использование ресурса оборудования; – низкая эффективность при долгосрочном планировании ресурсов; + минимальная вероятность аварийных отказов; – высокие требования к культуре труда и квалификации персонала.	<i>IV. Проактивная:</i> * активное упреждающее воздействие на ТС оборудования; + увеличение срока службы оборудования; + урациональный выбор времени, видов и объёмов ТОиР;

Под *реактивными* подразумеваются стратегии ТОиР, необходимость ремонтных воздействий в которых обуславливается наступлением некоторого критического в рамках этой стратегии события (отказа, достижения предельных величин регламентируемых параметров). *Превентивные* стратегии ТОиР направлены на предупреждение возникновения критического события и характеризуются возможностью осуществления предварительного планирования и подготовки ТОиР

(заказ ремонтных бригад, материально-технического обеспечения) в противоположность реактивным стратегиям, когда необходимость проведения ТОиР, а, соответственно, и обеспечение их подготовки, до наступления критического события непредсказуемы.

Исторически первой (как наименее требовательная к уровню организации и культуры труда) сложилась *стратегия эксплуатации до отказа*, которая подразумевает осуществление операций по ТОиР оборудования по достижению критического состояния, которое, как правило, характеризуется невозможностью выполнения заданных функций, то есть утратой работоспособности. К основным достоинствам данной стратегии ТОиР следует отнести наибольшую длительность межремонтного периода, соответствующую сроку службы оборудования, и минимальные затраты на содержание ремонтной службы, доминирующей функцией которой в этом случае становится восстановление работоспособности оборудования после выхода его из строя. С другой стороны, отсутствие возможности планирования ресурсов (финансовых, временных, рабочей силы и прочих), необходимых для выполнения ТОиР, приводит к значительному увеличению продолжительности последних и к повышенным издержкам на ликвидацию аварий, в том числе к потерям производства. Создание складских запасов товарно-материальных ценностей, как правило, не является удовлетворительным решением, поскольку влечёт за собой снижение ликвидности предприятия. Объём таких запасов в ряде случаев (особенно в отраслях, где используется уникальное единичное оборудование) превышает экономически обоснованные пределы. Несмотря на указанные недостатки, *в случае недорого резервируемого, а также типового оборудования, отказ которого не оказывает критического влияния на технологический процесс, не представляет опасность для окружающей среды, здоровья и жизни человека*, данная стратегия успешно применяется и поныне.

В первой половине XX века с ростом серийности производства и повышением производительности промышленных предприятий потери в результате отказов оборудования приобрели критическое значение. На смену стратегии эксплуатации до отказа пришла *стратегия ППР* или *ремонтов по регламенту*, подразумевающая превентивные ТОиР на основании статистических сведений о сроке службы оборудования. Снижение количества аварийных отказов относится к основным достоинствам данной стратегии, хотя вероятность их возникновения не исключается полностью, а фиксируется в задаваемых пределах. Стратегия ППР обеспечивает наилучшие условия для планирования ресурсов, «однако основной недостаток ППР перевешивает все его достоинства, он заключается в проведении ремонтов фактически исправного оборудования, а также принудительной замене деталей независимо от их остаточного ресурса (в сложном оборудовании разница ресурсов отдельных деталей может достигать 500%). Все это приводит к неоправданному росту эксплуатационных затрат. В недостатки ППР также нужно отнести снижение остаточного ресурса оборудования и увеличение вероятности отказа при вводе в

работу после ремонта» [5]. Данная стратегия обеспечила наилучшую интеграцию в рамках плановой экономики и позволила устранить ряд недостатков исторически сложившейся ранее стратегии эксплуатации до отказа. ***Более полное использование ресурса оборудования достигалось за счёт снижения вероятности повреждения деталей с потенциально большим ресурсом***, что могло иметь место при выходе из строя элементов, определявших срок службы оборудования в целом при эксплуатации до отказа. В настоящее время стратегия ППР продолжает использоваться на многих предприятиях, в первую очередь, для ответственного оборудования и оборудования, выход которого из строя может представлять опасность для окружающей среды, здоровья и жизни человека. В остальных случаях стратегия ППР применяется зачастую только декларативно, что обусловлено возросшими требованиями к эффективности системы ТОиР предприятия в условиях рыночной экономики.

На границе 70-80-ых годов XX века в ремонтном обслуживании производства нашла применение мобильная и переносная виброизмерительная аппаратура, позволяющая осуществлять вибромониторинг оборудования на основе частотного анализа. В то же время происходило ускоренное развитие теории надёжности и исследований в области эксплуатационных свойств оборудования. Всё это предопределило возникновение новой научно-прикладной области знаний — *технической диагностики*, достижения которой были использованы как основание для реализации стратегии ТОиР по ТС [6]. В первую очередь, стратегия ТОиР по ТС направлена на устранение недостатков исторически предшествовавшей ей стратегии ППР, а именно на **снижение количества необоснованных ремонтных воздействий с целью максимального использования ресурса оборудования**. При применении данной стратегии за счёт мониторинга ТС вероятность аварийных отказов оборудования сводится к возможному минимуму. Девиз данной стратегии звучит так: *«Оборудование должно быть остановлено на ремонт за мгновение до предполагаемого выхода из строя»*. Уменьшение затрат на ТОиР оборудования, минимизация количества unplanned отказов, снижение числа плановых простоев, обусловленных монтажно-сборочными операциями, — неоспоримые преимущества, которые сопровождают внедрение стратегии ТОиР по ТС. Стратегия ТОиР по ТС выдвинула новые требования к уровню культуры труда. В рамках ремонтных служб и контролирующих органов выделяются подразделения технической диагностики, увеличивается значение личного профессионализма, квалификации и опыта рабочих, руководителей и специалистов. С другой стороны, поскольку регламентация ТОиР обуславливается стохастическим фактором — фактическим ТС оборудования — снижается эффективность долгосрочного планирования ресурсов (ориентировочный срок предупреждения отказов, а значит и планирования проведения ТОиР в случае использования средств технической диагностики преимущественно не превышает двух-трёх месяцев).

С целью обеспечения высоких показателей работоспособности оборудования промышленных предприятий в последнее время всё большую популярность приобретает *проактивная стратегия* ТОиР. Анализ, проведенный в работе [4], позволяет определить проактивную стратегию ТОиР как наиболее эффективную и целесообразную для внедрения в современных экономических условиях. Проактивная стратегия объединяет в себе достоинства превентивных ремонтных воздействий системы ППР и информационное обеспечение процесса принятия решений, характерное для ТОиР по ТС оборудования.

1.3. Проактивная стратегия технического обслуживания и ремонтов оборудования

Сущность проактивной стратегии ТОиР оборудования заключается в выполнении необходимых ремонтных воздействий, направленных на снижение скорости развития или устранение неисправностей, которые выявлены на основе сведений о фактическом ТС оборудования.

Теоретические основы проактивной стратегии ТОиР оборудования постулируют, что изначально все виды неисправностей присутствуют в зачаточном или явном виде во всех пускаемых в эксплуатацию машинах. Различные факторы, сопровождающие эксплуатацию (проектные и непроектные нагрузки, воздействие факторов окружающей среды и близлежащего оборудования, условия эксплуатации, проведения ТОиР и прочие), в той или иной мере приводят к развитию различных видов неисправностей. Определяющее воздействие совокупности факторов вызывает ускоренное развитие одной или нескольких неисправностей, которые становятся детерминирующими по отношению к работоспособности машины. Выбирая ремонтные воздействия таким образом, чтобы уменьшить влияние определяющих факторов, можно снизить скорость развития неисправностей, поддерживая работоспособное состояние машины. Рациональный выбор и качественная реализация **этих и только этих** ремонтных воздействий является задачей РС. [4]

Проактивная стратегия ТОиР (рисунок 1.2) базируется на *оценке ТС оборудования*, которая может осуществляться следующими методами:

- мониторинг технологических параметров;
- визуальный осмотр;
- контроль температуры;
- акустическая и вибрационная диагностика;
- обследование с применением методов неразрушающего контроля (магнитного, электрического, вихретокового, радиоволнового, теплового, оптического, радиационного, ультразвукового, контроля проникающими веществами).

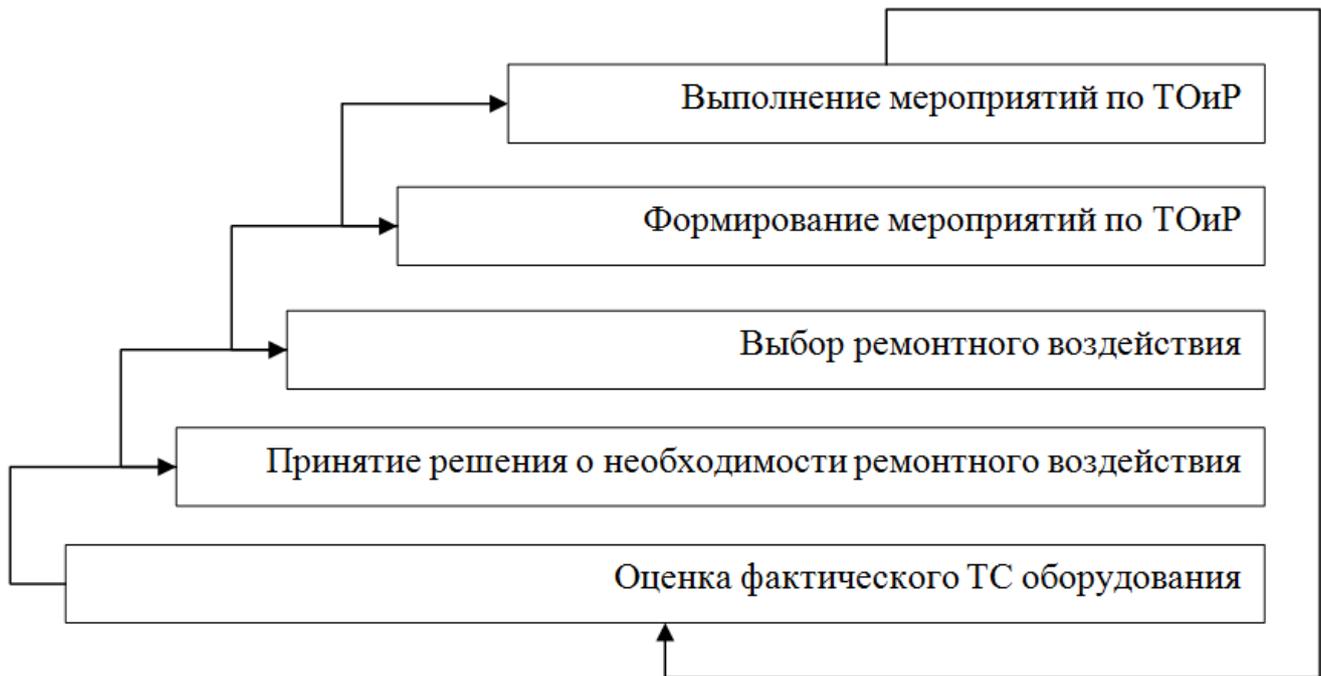


Рисунок 1.2 — Ремонтное обслуживание оборудования в рамках проактивной стратегии ТОиР

Основанием для принятия *решения о необходимости выполнения ремонтного воздействия* является ситуация, когда ТС одного элемента (детали, узла, механизма) оборудования приводит к ухудшению ТС смежных (пространственно и/или функционально) элементов.

Перечень возможных *ремонтных воздействий*:

- уход за оборудованием (уборка, очистка, противокоррозионная обработка);
- регулировка, настройка, наладка (центровка, балансировка);
- обеспечение соединений (восстановление целостности сварных швов, затяжка резьбовых соединений);
- смазывание поверхностей трения;
- замена быстроизнашивающихся деталей;
- восстановление или замена базовых деталей, в том числе корпусных.

Ремонтные воздействия осуществляются в рамках следующих *групп мероприятий по ТОиР оборудования*:

1. *Профилактическое техническое обслуживание* — комплекс мероприятий, проводимых периодически, которые направлены на предупреждение или снижение скорости развития дефектов путём обеспечения проектных условий взаимодействия узлов оборудования (очистка от технологических отходов, продуктов износа, коррозии, осадков, отложений и прочие; удаление пыли, грязи, масла, шлака, окалины, просыпи сырья, мусора и прочие; доливка, дозаправка рабочих жидкостей, досыпка, замена расходных материалов; замена или восстановление сменного оборудования и другие).
2. *Корректирующее техническое обслуживание* — комплекс мероприятий, проводимых по необходимости, которые направлены на предупреждение или снижение скорости развития дефектов путём обеспечения проектных условий

взаимодействия узлов оборудования (регулировка и наладка оборудования, в том числе центровка, балансировка; восстановление соединений деталей, обеспечение целостности металлоконструкций и трубопроводов; восстановление покрытий, окраски и другие).

3. *Прогностическое техническое обслуживание* — комплекс мероприятий, направленных на установление фактического ТС оборудования с целью прогнозирования его изменения в процессе дальнейшей эксплуатации и выявления наиболее целесообразного момента применения и требуемых видов ремонтных воздействий (измерение технических и технологических параметров, отбор проб; контроль, испытание, проверка режимов работы оборудования; контроль ТС оборудования, в том числе методами технической диагностики; дефектоскопия методами неразрушающего контроля; технический осмотр оборудования, освидетельствование, обследование, ревизия и другие).
4. *Текущий ремонт* — комплекс мероприятий, направленных на обеспечение работоспособности оборудования путём замены или восстановления отдельных его узлов, не являющихся базовыми, кроме сменного оборудования.
5. *Капитальный ремонт* — комплекс мероприятий, направленных на обеспечение работоспособности оборудования путём замены или восстановления базовых его узлов и деталей.

Выбор проактивной стратегии ТОиР *позволяет обеспечить:*

- увеличение срока службы оборудования за счёт снижения скорости развития или устранения зарождающихся неисправностей на начальной стадии их возникновения;
- исключение вторичных повреждений элементов оборудования, вызванных выходом из строя смежных (пространственно и/или функционально) элементов;
- обоснование и выполнение только необходимых ремонтных воздействий, что уменьшает затраты и нагрузку на РС, а также снижает вероятность возникновения отказов, вызванных ошибками монтажа и вмешательством в функционирование работоспособного оборудования;
- сокращение затрат на ремонтное обслуживание производства, обусловленное изменением структуры ТОиР в пользу увеличения количества недорогостоящих профилактических воздействий вместо затратных ремонтных операций (замена, восстановление);
- рациональный выбор времени, видов и объёмов ТОиР вследствие ранних сроков предупреждения возникновения неисправностей при использовании методов и средств технической диагностики и неразрушающего контроля;
- снижение вероятности аварийных отказов, обусловленных неудовлетворительным ТС оборудования;
- повышение коэффициента готовности оборудования, что обеспечивает возможность увеличения объёмов производства и снижения себестоимости продукции;

- формирование доверия к производителю со стороны потребителя за счёт своевременного выполнения договорных обязательств и улучшения качества продукции как комплексный результат повышения культуры труда.

1.4. Способы организации ремонтного обслуживания производства

Способ организации ремонтного обслуживания производства обуславливает структуру РС предприятия, что оказывает непосредственное влияние на эффективность системы ТОиР в целом.

Классические способы организации РС [7] характеризуются диапазоном форм от децентрализованной к централизованной, которые отличаются степенью концентрации управления силами и средствами в рамках единой специализированной структуры на предприятии (рисунок 1.3).

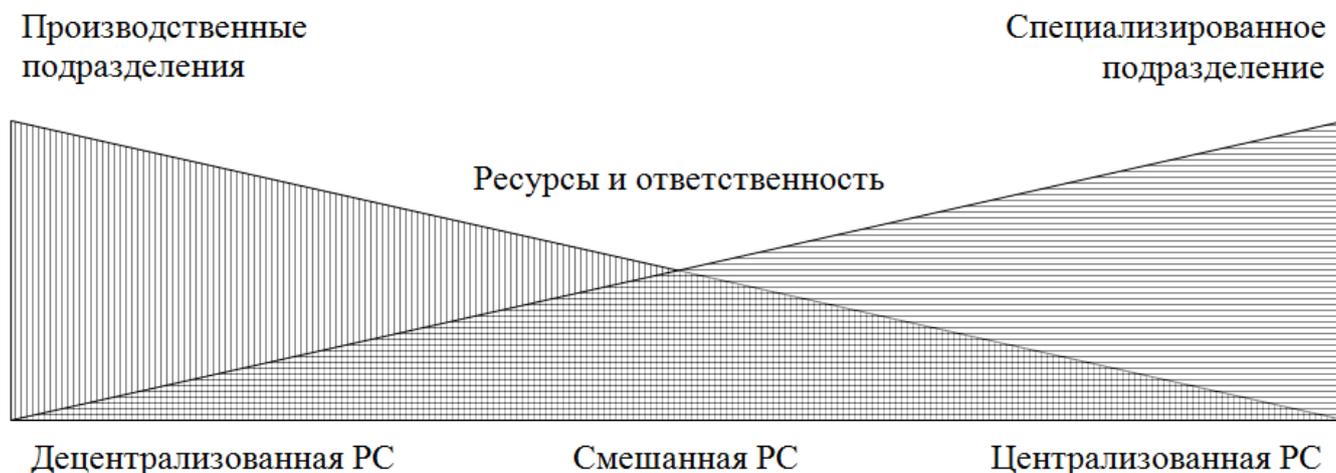


Рисунок 1.3 — Классические способы организации ремонтного обслуживания производства

Способ организации ремонтного обслуживания, характеризующийся распределением сил и средств РС между производственными подразделениями предприятия, называется *децентрализованным*.

Централизованная организация РС подразумевает наличие специализированной структуры в составе предприятия, на которую возложен весь объём функций по ТОиР оборудования производственных и вспомогательных подразделений, а также несущей всю полноту ответственности за обеспечение работоспособности оборудования.

Способ построения РС на основе широкого диапазона промежуточных форм, отличающихся различной степенью централизации, называется *смешанным*.

Наиболее распространёнными на отечественных предприятиях являются смешанные формы организации РС, в то время как зарубежная практика свидетельствует о высокой эффективности централизованных форм ТОиР оборудования [4], в том числе построения системы ТОиР на основе альтернативных способов организации РС.

Альтернативные способы организации ремонтного обслуживания производства (рисунок 1.4) подразумевают привлечение внешних ресурсов (сил и

средств) для обеспечения и выполнения ТОиР оборудования предприятия. В зависимости от степени использования ресурсов внешних предприятий и передачи им соответствующей ответственности за обеспечение работоспособности оборудования различают *подрядный* и *сервисный* способы выполнения работ по ТОиР.

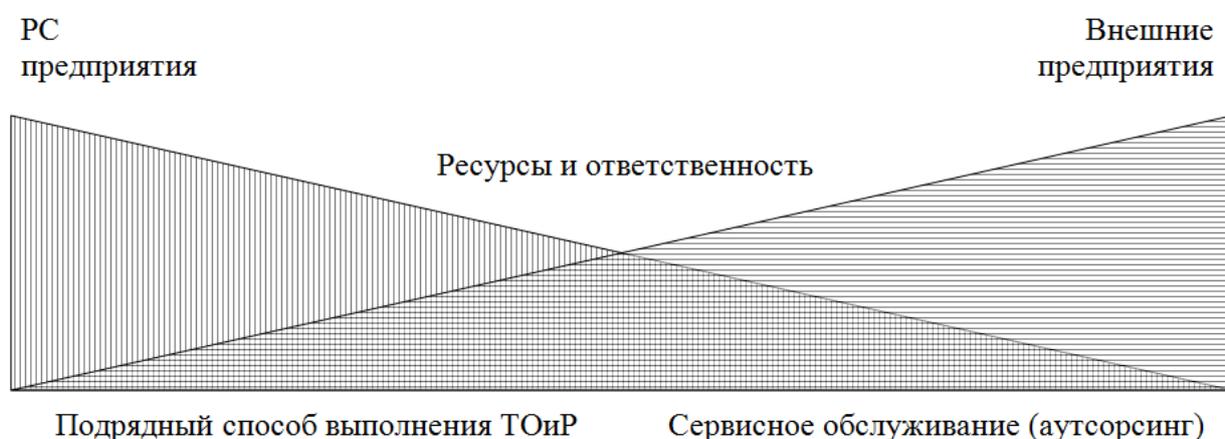


Рисунок 1.4 — Альтернативные способы организации ремонтного обслуживания производства

Для обеспечения требуемого уровня результативности системы ТОиР оборудования распространено совместное использование классических и альтернативных способов организации ремонтного обслуживания производства на предприятии.

1.5. Критерии оценки эффективности ремонтного обслуживания производства

Оценка эффективности ремонтного обслуживания производства выполняется на основании критериев, принятых на предприятии. Действенная система критериев позволяет осуществлять анализ не только фактической результативности имеющейся системы ТОиР, но и оперативно выявлять её недостатки, определять пути дальнейшего совершенствования и развития.

Различают технические и экономические подходы к оценке эффективности РС предприятия. *Технические подходы* [8] отличаются преимущественной направленностью на оценку критериев, характеризующих работоспособность оборудования, возможность его использования для реализации заданного технологического процесса. *Экономические подходы* [9] позволяют выполнять оценку результативности РС путём сопоставления затрат на ТОиР и потерь производства, обусловленных ТС оборудования.

В настоящее время вопрос обобщённой *технико-экономической* оценки эффективности ремонтного обслуживания производства, которая бы позволяла выполнять комплексный анализ результативности системы ТОиР оборудования, следует отнести к разряду проработанных недостаточно, что оставляет предприятиям простор для выработки собственных подходов к его решению. Указанное, например, предпринято в работах [10, 11].

Необходимо отдельно обратить внимание на распространённую ошибку. Для оценки эффективности системы ТОиР недопустимо использование критериев, характеризующих деятельность, осуществляемую РС (объёмы выполняемых работ: в количественных, временных, натуральных, стоимостных и прочих подобных показателях). Интенсивность выполнения ремонтных работ зачастую не свидетельствует о достижении основной цели ремонтного обслуживания производства – обеспечения работоспособности оборудования. Оценка эффективности системы должна выполняться на основании внешних, а не внутренних показателей её работы.

Только действенная методика оценки эффективности ремонтного обслуживания производства позволяет качественно выполнить анализ системы ТОиР, результативности деятельности РС, обеспечить информационное сопровождение процесса принятия решений.

1.6. Аварийность

Аварии промышленного оборудования приводят к прерыванию технологического процесса, что сопровождается неминуемыми материальными потерями, а также может являться причиной техногенных катастроф и гибели людей. Обеспечение работоспособности оборудования с переходом от устранения следствий аварий к предупреждению их причин является основной задачей РС предприятия.

Для оценки аварийности оборудования могут быть выбраны эксплуатационные (суммарное время простоев) или экономические (потери производства, стоимость ликвидации аварий) показатели. При этом в общем случае для предприятия целесообразно оценивать не абсолютные величины, а скорее динамику изменения выбранных параметров во времени.

С другой стороны интерес может представлять сравнительный анализ взвешенных показателей аварийности (предположим, суммы потерь производства и стоимости ликвидации аварий за некоторый референтный период, отнесённой к сумме затрат на ТОиР оборудования) предприятий отрасли для выявления наиболее эффективных форм организации и методов совершенствования РС.

Оценка показателей аварийности может быть успешно использована как индикатор эффективности мероприятий по реформированию РС, для оценки внедряемых технических и организационных решений. На основе сравнения экономических потерь от аварий и средств, выделяемых на финансирование РС, могут быть установлены их оптимальные объёмы. То же справедливо и для оценки численности ремонтного персонала.

Положения и системы, определяющие порядок расследования аварий на промышленных предприятиях, как правило, разрабатываются на основании «Порядка расследования и учёта несчастных случаев, профзаболеваний и аварий на производстве», утверждённого постановлением Кабинета министров Украины

№1112 от 25.08.2004г. Однако часто нерешённой остаётся главная задача. Речь идёт о полноценном и эффективном использовании полученной в ходе расследования информации, причём не столько для устранения, сколько для предотвращения последующих аварий на том же или однотипном оборудовании.

Расследование аварии подразумевает поэтапное решение следующей последовательности задач:

1. *Сбор фактической информации* о происшествии и оперативных действиях персонала, визуальный осмотр места и объекта аварии.
2. *Изучение* технологических и технических характеристик объекта аварии.
3. *Анализ истории* объекта (аналогичных аварий, проведенных работ по техническому обслуживанию и ремонтам).
4. *Формирование рабочей гипотезы*, проведение дополнительных исследований по необходимости (если дополнительные исследования опровергают гипотезу, выдвигается новая, достоверность которой подвергается проверке).
5. *Определение причин* аварии, сопутствовавших ей технических факторов, виновных (развитие подтверждённой рабочей гипотезы).
6. *Разработка* противоаварийных мероприятий.
7. *Мониторинг* выполнения противоаварийных мероприятий.

Полученная информация может быть использована при решении ряда технических и технологических вопросов, вопросов материального снабжения, управления персоналом, развития РС.

Целесообразным видится выполнение таких видов анализа:

- *причинно-факторный*, который заключается в выявлении характерных проблем предприятия (например, недостаточная квалификация эксплуатационного персонала, отсутствие стабильного и своевременного материально-технического обеспечения, несоответствие объёмов и периодичности ремонтов оборудования интенсивности его эксплуатации и прочие);
- *пространственный*, целью которого является определение «уязвимых мест» как отдельных машин, так и агрегатов, комплекса оборудования предприятия в целом;
- *временной*, который направлен на выявление сезонных закономерностей, цикличности аварийных ситуаций, тенденций и прогнозов их возникновения.

Результаты проведенного анализа являются основанием для разработки мероприятий, направленных не только и не столько на борьбу со следствиями аварий, но в большей степени на устранение их причин и предотвращение возможности повторения в дальнейшем. [12]

Перечень ссылок

1. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2007. — 12 с.
2. Проект «Положения о техническом обслуживании и ремонте механического оборудования металлургических предприятий» (первая редакция) [Государственный институт труда и социально-экономических исследований: Ж.

- Водопьян, Л. Гончарук, В. Коваль, Т. Сыркина (к.э.н., руководитель разработки), Л. Тарасенко, В. Шевченко]. — Харьков: ГИТ СЭИ, 2011. — 204 с.
3. Бизнес-школа SRC: Глоссарий. — <http://www.src-master.ru/glossary.php>.
 4. Бобровицкий В.И., Сидоров А.В. Совершенствование системы ТОиР оборудования в условиях централизации ремонтной службы предприятия // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. — Донецк: ДонНТУ, 2011. — №1 (24). — С. 23-28.
 5. Холоденин А.А. Сравнение стратегий технического обслуживания электрооборудования // Материалы X региональной научно-технической конференции «Вузовская наука — Северо-Кавказскому региону». — Ставрополь: СевКавГТУ, 2006.
 6. Ловчиновский Э.В. Реорганизация системы технического обслуживания и ремонта предприятий. — М.: Серия «Реинжиниринг бизнеса», 2005. — 385 с.
 7. Ширман А.Р., Соловьёв А.Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. — М.: Москва, 1996. — 276 с.
 8. ОЕЕ. — <http://ru.wikipedia.org/wiki/ОЕЕ>.
 9. Ченцов Н.А. Организация, управление и автоматизация ремонтной службы: Учебник / Под ред. д-ра техн. наук, проф. В.Я. Седуша, Донецкий национальный технический университет. — Донецк: Норд-Пресс-УНИТЕХ, 2007. — 258 с.
 10. Техническое обслуживание и ремонты оборудования. Решения НКМК-НТМК-ЕВРАЗ: Учеб. пособие / Под ред. В.В. Кондратьева, Н.Х. Мухатдинова, А.Б. Юрьева. — М.: ИНФРА-М, 2010. — 128 с.
 11. Сидоров А.В. Оценка эффективности ремонтного обслуживания производства / Консалтинговый проект «ЕАМ». — <http://eam.su/ocenka-effektivnosti-remontnogo-obsluzhivaniya-proizvodstva.html>.
 12. Сидоров А.В. Аварийность как показатель эффективности ремонтной службы предприятия / Консалтинговый проект «ЕАМ». — <http://eam.su/avarijnost-kak-pokazatel-effektivnosti-remontnoj-sluzhby-predpriyatiya.html>.

Вопросы для контроля

1. Дайте определение, назовите цели и основные составляющие системы ТОиР оборудования.
2. Дайте краткую характеристику основных стратегий ТОиР оборудования.
3. В какой последовательности осуществляется ремонтное обслуживание оборудования в рамках проактивной стратегии ТОиР?
4. Приведите классификацию основных способов организации ремонтного обслуживания производства.
5. По каким критериям может быть оценена эффективность ремонтного обслуживания производства?
6. Какие задачи позволяет решить анализ аварийности на предприятии?

2. Понятие о техническом обслуживании оборудования

2.1. Техническое обслуживание как ключевое звено в обеспечении безопасной и безаварийной эксплуатации оборудования

ТО — комплекс операций или операция по поддержанию исправного состояния или работоспособности оборудования при использовании его по назначению, во время простоя, хранения и транспортирования. [1]

Целью ТО оборудования является поддержание технически исправного его состояния, предупреждение преждевременного износа оборудования и его составных частей, обеспечение выполнения требований нормативных актов по охране труда и окружающей природной среды. [2]

Достигается цель ТО путём [1]:

- проведения регулярных технических осмотров и технических обследований, определение на их основании работ, необходимых для поддержания работоспособности оборудования;
- надлежащего ухода за оборудованием, а также строгим соблюдением правил его технической эксплуатации (ПТЭ), производственно-технологических инструкций (ПТИ);
- выполнения ежесменных и периодических ТО;
- контроля своевременности и качества проведения работ по ТО;
- проведения экспертного технического диагностирования и технического осмотра (в случаях, предусмотренных нормативно-правовыми или нормативно-техническими актами по эксплуатации оборудования, обязательно).

Основные принципы организации и проведения ТО приведены в [2].

Технологический персонал осуществляет работы по ТО оборудования в рамках рабочих мест, закреплённых распоряжением начальника подразделения.

Рабочее место — часть территории подразделения с находящимся в её пределах оборудованием, зданиями, сооружениями и прочими объектами, где совершаются трудовые действия по выполнению производственного задания одним или несколькими работниками. [3]

2.2. Задачи технологического персонала по техническому обслуживанию закреплённого оборудования в соответствии с «Правилами технической эксплуатации механического оборудования»

К работе по ТО механического оборудования *допускаются* лица [4]:

- признанные медицинской комиссией годными для выполнения работ по профессии;
- обладающие необходимыми знаниями и производственными навыками для выполнения данной работы;

- усвоившие ПТЭ оборудования, обслуживаемого лицами данной профессии;
- прошедшие инструктаж и усвоившие требования Правил по охране труда в установленном порядке;
- прошедшие обучение, сдавшие экзамен и имеющие удостоверение на право работы по данной профессии.

Технологический персонал, проводящий ТО механического оборудования, проходит **обязательное обучение профессии слесаря** и другим ремонтным профессиям в установленном порядке. Лица, не сдавшие квалификационных экзаменов, к работе не допускаются. [4]

Рабочий технологического персонала, обслуживающий оборудование, несёт ответственность за соблюдение режимов работы и исправность эксплуатируемого и закреплённого за ним оборудования, в рамках чего *обязан*:

1. Знать устройство, принцип действия и выполнять ПТЭ, ПТИ эксплуатируемого и закреплённого за ним оборудования.
2. Перед началом смены:
 - лично проверять состояние закреплённых за ним агрегатов (машин) и устранять обнаруженные неисправности;
 - принимать и передавать (по окончании смены) оборудование в рабочем состоянии, чистым, смазанным, с обтянутым крепежом; приёмку-передачу фиксировать в журнале с подписями сдающего и принимающего.
3. Во время работы:
 - выполнять ПТЭ и ПТИ, не допускать перегруза агрегата (машин);
 - принимать меры и устранять возникшие в процессе работы неполадки и неисправности;
 - сдавать в ремонт, участвовать в ремонте и принимать закреплённый агрегат после ремонта, вести журнал приёма-сдачи смены, в котором отражать ТС оборудования; обо всех неисправностях, нарушениях эксплуатации, отклонениях в режимах работы докладывать, а в случаях возникновения аварий представлять письменное объяснение руководителю.

При передаче смены необходимо проверять:

- технологический режим работы оборудования;
- оправильность функционирования оборудования (встроенными средствами диагностики);
- состояние деталей, узлов и механизмов, в работе которых во время предыдущей смены обнаружены дефекты и неисправности;
- состояние подшипниковых узлов, муфт, зубчатых передач, редукторов и другого оборудования по температуре, характеру и величине шума и вибрации;
- работоспособность централизованных и индивидуальных смазочных устройств, наличие в них смазочного материала, поступление его в узлы трения, наличие в ваннах редукторов и других масляных ёмкостях, отсутствие утечек;

- работоспособность систем звуковой и световой сигнализации, блокировочных устройств, контрольно-измерительных приборов;
- работоспособность тормозных устройств и механизмов аварийных остановок;
- работоспособность систем подачи сжатого воздуха, циркуляции воды, пара к охлаждаемым элементам;
- надёжность крепления деталей, узлов и механизмов, ослабление которых может вызвать аварию или остановку оборудования;
- наличие и исправность ограждений вращающихся частей, проёмов и других защитных средств;
- освещённость, чистоту рабочих мест и проходов;
- наличие инструмента, приспособлений и запасных частей.

Обнаруженные неисправности должны быть устранены. Эксплуатация неисправного оборудования не допускается.

Сдающий смену обязан сделать запись в журнале приёмки-сдачи смен о состоянии закреплённых за ним объектов, об обнаруженных в течение смены неисправности, случаях неправильного функционирования оборудования, нарушениях условий эксплуатации, режимов работы и о мерах, принятых для их устранения, а также сообщить об этом принимающему смену.

Принимающий смену обязан вместе со сдающим осмотреть передаваемые объекты, проверить соответствие их состояния записям в журнале приёмки-передачи смен. В случае обнаружения неисправностей и наличия замечаний, отразить их записью в журнале приёмки-сдачи смен.

Смена считается переданной после того, как сдающий вместе с принимающим расписываются в журнале приёмки-сдачи смен. Принявший смену обязан сообщить руководителю о приёмке им смены и о состоянии принятых объектов.

В течение смены технологический персонал обязан:

- поддерживать чистоту оборудования и рабочих мест;
- контролировать поступление смазочных материалов к узлам трения механизмов, оборудованных централизованными системами жидких и пластичных смазочных материалов;
- производить смазку узлов трения, снабжённых индивидуальными приборами, смазочными материалами назначенного сорта по установленному режиму;
- вести систематическое наблюдение за работой механизмов, определять правильность функционирования оборудования в технологическом потоке, снимать показания контрольно-измерительных приборов;
- контролировать степень нагрева узлов трения машин; характер и величину шума, вибрации в редукторах, зубчатых передачах, подшипниках, муфтах и другом оборудовании;
- проверять надёжность болтовых, клиновых, шпоночных, сварных, заклёпочных, других видов соединений и крепления деталей и узлов;

- проверять состояние и регулировать натяжение транспортерных лент, цепей и стальных канатов;
- проверять наличие утечек, исправность трубопроводов и арматуры магистралей воды, сжатого воздуха, смазочных материалов, гидравлических систем;
- контролировать поступление воды и воздуха к охлаждаемым элементам объектов;
- контролировать загрузку и разгрузку оборудования шихтовыми материалами;
- производить замену сменного оборудования и быстроизнашивающихся деталей и узлов;
- следить за наличием и исправностью ограждений;
- устранять неисправности и неполадки, обнаруженные при эксплуатации оборудования, используя всякого рода перерывы в работе, а при необходимости останавливая для этого оборудование в соответствии с действующими правилами его остановки.

Нарушение ПТЭ механического оборудования влечёт за собой в зависимости от степени и характера нарушения дисциплинарную или уголовную ответственность в соответствии с действующим законодательством. [4]

Перечень ссылок

1. Проект «Положения о техническом обслуживании и ремонте механического оборудования металлургических предприятий» (первая редакция) [Государственный институт труда и социально-экономических исследований: Ж. Водопьян, Л. Гончарук, В. Коваль, Т. Сыркина (к.э.н., руководитель разработки), Л. Тарасенко, В. Шевченко]. — Харьков: ГИТ СЭИ, 2011. — 204 с.
2. Положення про технічне обслуговування устаткування підприємств гірничо-металургійного комплексу, утврещдєнное Приказом Министерства промышленной политики Украины №285 от 15.06.2004г.
3. Словарь терминов и определений // Консалтинговый проект «ЕАМ». — <http://eam.su/slovar-terminov-i-opredelenij.html>.
4. Правила технической эксплуатации механического оборудования доменных цехов, утврещдєнные Государственным Комитетом промышленной политики Украины 11.10.2000г.

Вопросы для контроля

1. Назовите основные цели ТО оборудования и пути их достижения.
2. Перечислите основные обязанности технологического персонала по ТО оборудования.

3. Современные концепции технического обслуживания оборудования

3.1. ТРМ

ТРМ (Total Productive Maintenance) — система общепроизводственного обслуживания оборудования, направленная на обеспечение создания добавочной стоимости путём [1]:

- стремления к самым высоким показателям эффективности работы оборудования;
- формирования системы производственного ТО для всего жизненного цикла оборудования;
- развёртывания общего производственного обслуживания оборудования в службах планирования, разработки нового оборудования, главного инженера, в производственных подразделениях и в других службах;
- участия всего персонала предприятия в развёртывании системы — от руководства до рядовых сотрудников;
- командной работы малых групп на технологических участках.

ТРМ включает:

- отдельные улучшения для повышения производительности оборудования и инженерных систем;
- самостоятельное обслуживание оборудования технологическим персоналом;
- плановое ТО оборудования;
- обучение и подготовку технологического и ремонтного персонала;
- управление разработкой и внедрением нового оборудования и новых продуктов;
- систему обслуживания, ориентированную на качество;
- охрану труда и окружающей природной среды;
- систему повышения эффективности в управленческих и обслуживающих подразделениях.

Этапы развёртывания самостоятельного обслуживания оборудования технологическим персоналом:

1. Чистка, проверка ТС оборудования.
2. Принятие мер по устранению источников загрязнений и труднодоступных мест.
3. Разработка временных норм чистки, проверки и смазки.
4. Общая проверка выполнения работ технологическим персоналом со стороны руководства, инспекторов.
5. Самостоятельная проверка.
6. Стандартизация поддерживающего контроля.
7. Самоуправление и самоорганизация процесса совершенствования производственного обслуживания оборудования.

3.2. Бережливое производство

Бережливое производство — концепция менеджмента, основанная на неуклонном стремлении к устранению всех видов потерь. Бережливое производство предполагает вовлечение в процесс оптимизации бизнеса каждого сотрудника и максимальную ориентацию на потребителя. [2]

Отправная точка бережливого производства — ценность для потребителя.

Ценность — это полезность, присущая продукту с точки зрения потребителя. Ценность создается производителем в результате выполнения ряда последовательных действий.

Сердцем бережливого производства является процесс устранения потерь.

Потери — это любое действие, которое потребляет ресурсы, но не создает ценности для потребителя.

В соответствии с концепцией бережливого производства всю деятельность предприятия можно классифицировать так:

- операции и процессы, добавляющие ценность для потребителя;
- операции и процессы, не добавляющие ценности для потребителя.

Всё, что не добавляет ценности для потребителя, классифицируется как потери, и должно быть устранено.

Виды потерь:

- перепроизводство;
- ожидание;
- ненужная транспортировка;
- лишние этапы обработки;
- лишние запасы;
- ненужные перемещения;
- выпуск дефектной продукции;
- нереализованный творческий потенциал сотрудников.

Также зачастую выделяют ещё два источника потерь:

- *неравномерность* выполнения работы;
- *перегрузка* оборудования или операторов.

Инструменты бережливого производства

Принцип *«точно вовремя»* заключается в том, что во время производственного процесса необходимые для сборки детали оказываются на производственной линии строго в тот момент, когда это нужно, и в строго необходимом количестве. В результате компания, последовательно внедряющая подобный принцип, может добиться минимизации складских запасов.

Принцип *«автономизации»* исключает перепроизводство, важную составляющую производственных потерь, и предотвращает производство продукции с браком.

Использование инструментов и методов бережливого производства позволяет добиться значительного повышения эффективности деятельности предприятия,

производительности труда, улучшения качества выпускаемой продукции и роста конкурентоспособности без значительных капитальных вложений.

3.3. Система 5S

5S — система организации и рационализации рабочего места. [3]

5S включает пять понятий:

- *сортировка* — чёткое разделение предметов на нужные и ненужные и избавление от последних;
- *соблюдение порядка* — организация хранения необходимых предметов, которая позволяет быстро и просто их найти и использовать;
- *содержание в чистоте* — соблюдение рабочего места в чистоте и опрятности;
- *стандартизация* — необходимое условие для выполнения первых трёх правил;
- *совершенствование* — формирование привычки точного выполнения установленных правил, процедур и технологических операций.

Цели 5S:

1. Снижение числа несчастных случаев.
2. Повышение уровня качества продукции, снижение количества дефектов.
3. Создание комфортного психологического климата, стимулирование желания работать.
4. Повышение производительности труда, что в свою очередь ведёт к повышению прибыли предприятия и, соответственно, повышению уровня дохода рабочих.

3.4. Кайдзен

Кайдзен — непрерывное совершенствование методов работы, личной эффективности, процессов производства, разработки, вспомогательных бизнес-процессов и управления, а также всех аспектов жизни. [3]

Улучшая стандартизованные действия и процессы, *цель* кайдзен — производство без потерь (бережливое производство).

Философия кайдзен предполагает, что наша жизнь в целом (трудовая, общественная и частная) должна быть ориентирована на постоянное улучшение.

Принципы кайдзен:

1. Фокус на клиентах — для компании, использующей кайдзен, более всего важно, чтобы их продукция (услуги) удовлетворяли потребности клиентов.
2. Непрерывные изменения — непрерывные малые изменения во всех сферах организации (снабжения, производства, сбыта, личностных взаимоотношений и так далее).
3. Открытое признание проблем — все проблемы открыто выносятся на обсуждение.
4. Пропаганда открытости — минимизация обособленности между отделами и рабочими местами.

5. Создание рабочих команд — каждый работник становится членом рабочей команды и соответствующего кружка качества.
6. Управление проектами при помощи межфункциональных команд — ни одна команда не будет работать эффективно, если она действует только в одной функциональной группе.
7. Формирование «поддерживающих взаимоотношений» — для организации важны не только и не столько финансовые результаты, сколько вовлеченность работников в её деятельность и хорошие взаимоотношения в коллективе, поскольку это неизбежно приведёт организацию к высоким результатам.
8. Развитие по горизонтали — личный опыт должен становиться достоянием всего предприятия.
9. Развитие самодисциплины — умение контролировать себя и уважать как самого себя, так и других работников и предприятие в целом.
10. Самосовершенствование — формирование привычки самостоятельного определения круга задач и ответственности, а также начала работы с решения собственных задач.
11. Информирование каждого сотрудника — весь персонал полностью информируется о предприятии.
12. Делегирование полномочий — передача определённого объёма полномочий каждому сотруднику благодаря обучению многим специальностям, владению широкими навыками, умениями и прочим.
13. Планирование и анализ — сущность управления в начале работы с планирования и сравнении плана с результатом.
14. Анализ происходящего на предприятии и действие на основе фактов, опираясь на достоверные данные.
15. Устранение основной причины и предотвращение рецидивов за счёт решения проблемы, а не борьбы с её проявлениями.
16. Изначальное встраивание качества в производственный процесс, поскольку проверка сама по себе не создает качества.
17. Стандартизация как закрепление достигнутого успеха.

Перечень ссылок

1. Итикава А., Такаги И., Такэбэ Ю. и др. ТРМ в простом и доступном изложении / Пер. с яп. А.Н. Стерляжникова. Под науч. ред. В.Е. Растимешина, Т.М. Куприяновой. — М.: РИА «Стандарты и качество», 2008. — 128 с.
2. Википедия: Бережливое производство. — [http://ru.wikipedia.org/wiki/Бережливое производство](http://ru.wikipedia.org/wiki/Бережливое_производство).
3. Википедия: 5S. — <http://ru.wikipedia.org/wiki/5S>.
4. Википедия: Кайдзен. — <http://ru.wikipedia.org/wiki/Кайдзен>.

Вопросы для контроля

1. Укажите основные направления улучшения обслуживания оборудования в рамках системы ТРМ.
2. В чём заключается концепция бережливого производства?
3. Перечислите основные понятия системы 5S.
4. Охарактеризуйте сущность философии кайдзен.

4. Общие сведения о механическом оборудовании

4.1. Стадии жизненного цикла оборудования

Жизненный цикл оборудования включает следующие стадии:

1. Проектирование.
2. Изготовление и сборка.
3. Транспортирование и хранение.
4. Монтаж (ввод в эксплуатацию).
5. Использование по назначению, включая операции по ТОиР (наиболее продолжительная стадия).
6. Демонтаж.
7. Утилизация.

ТО оборудования осуществляется на 3, 4, 5 стадиях.

Эксплуатация — стадия жизненного цикла оборудования, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается качество оборудования, в общем случае охватывающая ввод в эксплуатацию, использование по назначению, техническое обслуживание, текущие и капитальные ремонты, прекращение эксплуатации, списание (передачу, утилизацию, уничтожение). [1]

Эксплуатация оборудования сопровождается износом его элементов. На кривой износа (кривая 1, рисунок 4.1) в общем случае обнаруживаются три участка, соответствующие трём стадиям износа. Стадия I — это начальный ускоренный износ, наблюдаемый при приработке. Стадия II, представленная на рисунке прямолинейным участком, является режимом установившегося износа, наблюдаемым при нормальной эксплуатации оборудования. На стадии III скорость износа резко возрастает (катастрофический износ). Кривая 2 на рисунке 4.1 изображает скорость износа.

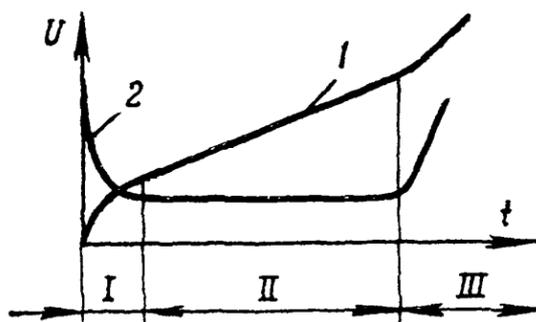


Рисунок 4.1 — Теоретическая кривая износа

4.2. Основные элементы механических систем

Оборудование — совокупность агрегатов, сборочных единиц, механизмов, а также аппаратов, колонн, установок, технологических линий, электротехнических и теплотехнических объектов, технологических и обвязочных трубопроводов и других устройств, используемых при производстве продукции или при выполнении технологических функций. Оборудование может состоять из изделий, огнеупорной кладки, технологических металлоконструкций и так далее. [1]

Согласно [2]:

- *агрегат* — совокупность машин, механизмов, устройств и сооружений, связанных единым технологическим процессом;
- *машина* — комплекс механизмов, предназначенных для выполнения полезной работы;
- *механизм* — система кинематически взаимосвязанных узлов и деталей, предназначенных для преобразования вида движения;
- *узел* — разъёмное или неразъёмное соединение нескольких деталей;
- *деталь* — изделие, изготовленное как одно целое, разделение которого на части невозможно без повреждения.

Запасная часть — составная часть изделия, предназначенная для замены бывшей в эксплуатации такой же части с целью поддержания или восстановления исправности либо работоспособности изделия. [1]

Основными элементами механических систем являются [2]:

- *вал* — деталь, вращающаяся вокруг своей оси, предназначенная для передачи крутящего момента и поддержания смежных вращающихся деталей;
- *ось* — деталь, предназначенная для поддержания вращающихся деталей, не передающая крутящий момент;
- *подшипник* — узел, служащий опорой для вала, совместно с системой смазывания обеспечивающий вращение с возможно меньшим коэффициентом трения;
- *корпусная деталь (корпус)* — деталь, предназначенная для поддержания подшипников, обеспечивающая правильное расположение валов;
- *резьбовое соединение* — узел, соединяющий корпусные детали и обеспечивающий нераскрытие стыка соединяемых деталей;
- *уплотнение* — деталь или узел, герметизирующий внутренний объём корпуса механизма от утечек смазки и попадания загрязнений (иногда устанавливается на соединительные элементы);
- *соединительный элемент* — узел, предназначенный для передачи вращающего момента от приводного вала к ведомому, компенсации углового и радиального смещения валов;
- *фундамент* — сооружение, обеспечивающее неподвижное и устойчивое положение корпусных деталей механизма;
- *исполнительный элемент* — деталь или узел, предназначенный для выполнения полезной работы в соответствии с функциональным назначением механизма.

4.3. Понятие об исправности и работоспособности

Исправность — состояние оборудования, которое характеризуется соответствием объекта всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией.

Если объект не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической документации, состояние оборудования характеризуется как *неисправное*.

Работоспособность — состояние оборудования, которое определяется возможностью выполнения всех заданных функций технологического процесса в границах заданных параметров.

Невыполнение хотя бы одной из заданных функций или выход параметров работы за заданные границы характеризует *неработоспособное* состояние оборудования.

Виды неисправностей [2]:

- *дефект* — нарушение качества изготовления, сборки, монтажа элементов оборудования;
- *повреждение* — нарушение исправного состояния оборудования в процессе эксплуатации при сохранении работоспособного состояния;
- *нарушение функционирования* — нарушение при выполнении заданных функций.

Отказ — событие, связанное с необратимым нарушением характеристик объекта, приводящим к нарушению работоспособного состояния.

Сбой — событие, при котором в результате временного изменения параметров объекта возникают помехи, воздействующие на работоспособность, которая в дальнейшем восстанавливается.

4.4. Аксиомы работоспособного состояния оборудования

Работоспособное состояние механизма характеризуется следующими *признаками* [2]:

- низкий уровень вибрации и шума;
- отсутствие ударных процессов;
- температура корпуса не превышает предельных значений;
- отсутствие утечек смазки;
- отсутствие трещин;
- отсутствие повреждений сопрягаемых элементов;
- определённые параметры шероховатости рабочих поверхностей;
- наличие оптимальных зазоров сопрягаемых деталей.

Работоспособное состояние механизма *обеспечивается*:

- соосностью валов, выдержанной в допустимых пределах и выставленной с учётом рабочей температуры механизма;
- постоянной или периодической смазкой узлов механизма с оптимальными характеристиками смазочного материала;

- уровнем рабочих нагрузок, не превышающим допустимые значения;
- равномерной затяжкой резьбовых соединений;
- выполнением всех заданных функций;
- периодической смазкой зубчатых муфт, шарнирных соединений и заменой отработанной смазки;
- оптимальными значениями зазоров, находящимися в допустимых пределах и учитывающих тепловое расширение детали;
- оптимальными параметрами шероховатости рабочих поверхностей;
- параллельным расположением валов на необходимом расстоянии.

Работоспособность *подшипников качения* характеризуется:

- отсутствием проворачивания колец подшипника на валу и в корпусе;
- отсутствием трещин в деталях подшипника;
- значениями зазоров в допустимых пределах;
- допустимой шероховатостью поверхности тел качения и беговых дорожек;
- качественным смазыванием.

Работоспособность *зубчатых передач* обеспечивается:

- необходимым размером пятна контакта;
- допустимыми значениями бокового зазора и размерами зубьев;
- допустимой шероховатостью поверхности зубчатых колёс;
- отсутствием проскальзывания рабочих поверхностей;
- неподвижным соединением деталей с валом.

Работоспособность *валов* обеспечивается:

- прямолинейностью;
- правильным расположением;
- отсутствием износа посадочных поверхностей;
- целостностью шпоночных и шлицевых соединений.

Работоспособность *муфт* предполагает:

- целостность деталей;
- равномерность износа элементов в допустимых пределах;
- неподвижность соединений деталей;
- наличие смазки (при необходимости).

4.5. Классификация оборудования по степени влияния на технологический процесс

По степени влияния на технологический процесс целесообразно выполнять следующую классификацию оборудования:

- *категория А* — оборудование, выход из строя которого приведёт к невозможности реализации технологического процесса;
- *категория В* — оборудование, выход из строя которого приведёт к снижению производительности основного технологического оборудования;
- *категория С* — оборудование, выход из строя которого не повлияет на производительность основного технологического оборудования.

В связи с высокой загруженностью технологического персонала принцип приоритетности производства обуславливает необходимость учёта категории при выполнении ТО оборудования. При этом оборудование, ТО которого регламентируется нормативными актами, должно обслуживаться строго в соответствии с требованиями и в сроки, регламентируемые соответствующими актами.

Перечень ссылок

1. Словарь терминов и определений // Консалтинговый проект «ЕАМ».
— <http://eam.su/slovar-terminov-i-opredelenij.html>.
2. Механическое оборудование: техническое обслуживание и ремонт / В.И. Бобровицкий, В.А. Сидоров. — Донецк: Юго-Восток, 2011. — 238 с.

Вопросы для контроля

1. На каких стадиях жизненного цикла оборудования осуществляется ТО?
2. Перечислите основные элементы механических систем.
3. В чём заключается отличие исправного и работоспособного состояний оборудования?
4. Чем обеспечивается работоспособное состояние механизма?
5. Какие категории оборудования имеют приоритет при выполнении ТО?

5. Методы оценки технического состояния оборудования

5.1. Общее понятие об оценке технического состояния оборудования

Техническое состояние — состояние оборудования, которое характеризуется в определенный момент времени при определённых условиях внешней среды значениями параметров, установленных регламентирующей документацией [1].

Контроль технического состояния — проверка соответствия значений параметров оборудования требованиям, установленным документацией, и определение на этой основе одного из заданных видов ТС в данный момент времени.

В зависимости от необходимости проведения ТОиР различают следующие *виды ТС* [2]:

- *хорошее* — ТОиР не требуются;
- *удовлетворительное* — ТОиР осуществляются в соответствии с планом;
- *плохое* — проводятся внеочередные работы по ТОиР;
- *аварийное* — требуется немедленная остановка и ремонт.

С целью установления фактического ТС оборудования, выявления дефектов, неисправностей, других отклонений, которые могут привести к отказам, а также для планирования проведения и уточнения сроков и объёмов работ по ТОиР проводятся технические обследования (осмотры, освидетельствования, диагностирование).

Технические обследования оборудования, эксплуатация которого регламентируется нормативными актами, проводится в порядке, установленном соответствующими нормативными актами.

Технический осмотр — мероприятие, выполняемое с целью наблюдения за ТС оборудования.

Техническое освидетельствование — наружный и внутренний осмотр оборудования, испытания, проводимые в срок и в объёмах, в соответствии с требованиями документации, в том числе нормативных актов, с целью определения его ТС и возможности дальнейшей эксплуатации.

Техническое диагностирование — комплекс операций или операция по установлению наличия дефектов и неисправностей оборудования, а также по определению причин их появления.

5.2. Методы оценки технического состояния оборудования

Различают субъективные и объективные методы оценки ТС оборудования.

Под *субъективными (органолептическими)* методами подразумеваются такие методы оценки ТС оборудования, при которых для сбора информации используются органы чувств человека, а также простейшие устройства и приспособления, предназначенные для увеличения чувствительности в рамках диапазонов, свойственных органам чувств человека. При этом для анализа собранной информации используется аналитико-мыслительный аппарат человека, базирующийся на полученных знаниях и имеющемся опыте. К субъективным методам оценки ТС относят визуальный осмотр, контроль температуры, анализ шумов и другие методы.

Под *объективными (приборными)* методами подразумеваются такие методы оценки ТС, при которых для сбора и анализа информации используются специализированные устройства и приборы, электронно-вычислительная техника, а также соответствующее программное и нормативное обеспечение. К объективным методам оценки ТС относятся вибрационная диагностика, методы неразрушающего контроля (магнитный, электрический, вихретоковый, радиоволновой, тепловой, оптический, радиационный, ультразвуковой, контроль проникающими веществами) и другие.

5.3. Порядок и особенности проведения визуального осмотра оборудования

Порядок проведения осмотров оборудования основывается на последовательном обследовании его элементов по кинематической цепи их нагружения, начиная от привода до исполнительного элемента. Для этого необходимо знать конструкцию оборудования, состав и взаимодействие его элементов.

Вначале проводится *общий* осмотр оборудования и окружающих его объектов. При общем осмотре изучается картина состояния оборудования. Общий осмотр

может носить самостоятельный характер и применяется при периодических осмотрах оборудования технологическим персоналом.

Под *детальным* понимается тщательный осмотр конкретных элементов оборудования. Детальный осмотр в зависимости от требований соответствующих нормативных и методических документов, проводится в определённом объёме и порядке. Во всех случаях детальному осмотру должен предшествовать общий осмотр.

Общий и детальный осмотр могут проводиться при статическом и динамическом режиме оборудования. При *статическом* режиме элементы оборудования осматриваются в неподвижном состоянии. Осмотр оборудования при *динамическом* режиме проводится на рабочей нагрузке, холостом ходу и при тестовых нагрузениях (испытаниях).

Осмотр оборудования при включении или остановке механизма ориентируется в основном на контроль качества затяжки резьбовых соединений, отсутствие трещин корпусных деталей, целостность соединительных элементов. В рабочем режиме дополнительно проверяются биения валов, муфт, утечки смазочного материала, отсутствие контакта подвижных и неподвижных деталей.

При осмотре могут быть применены три основных способа: концентрический, эксцентрический, фронтальный. При *концентрическом* способе (рисунок 5.1) осмотр ведётся по спирали от периферии элемента к его центру, под которым обычно понимается средняя условно выбранная точка. При *эксцентрическом* способе (рисунок 5.2) осмотр ведётся от центра элемента к его периферии (по развёртывающейся спирали). При *фронтальном* способе (рисунок 5.3) осмотр ведётся в виде линейного перемещения взгляда по площади элемента от одной его границы к другой.

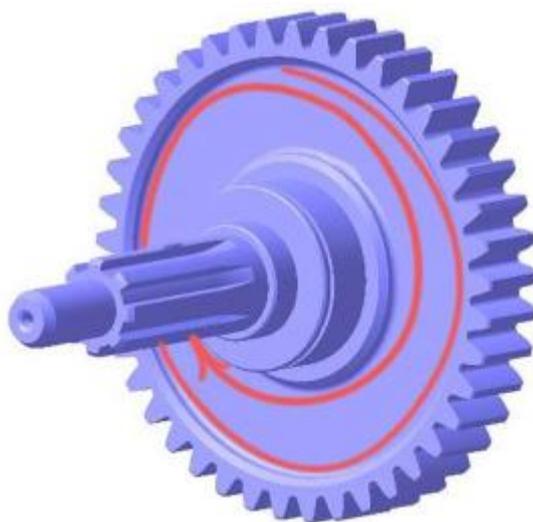


Рисунок 5.1 — Концентрический способ осмотра детали



Рисунок 5.2 — Эксцентрический способ осмотра детали

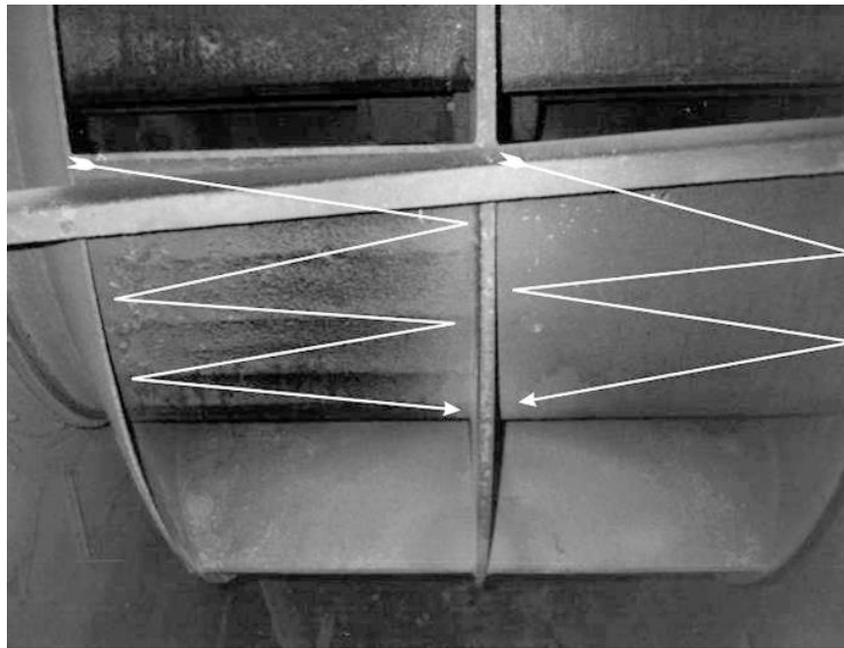


Рисунок 5.3 — Фронтальный способ осмотра детали

При выборе способа осмотра учитываются конкретные обстоятельства. Так, осмотр помещения, где установлено оборудование, рекомендуется проводить от входа концентрическим способом. Осмотр элементов круглой формы целесообразно вести от центра к периферии (эксцентрическим способом). Фронтальный осмотр лучше применять, когда осматриваемая площадь обширна и её можно разделить на полосы.

Под идентификацией дефектов и повреждений подразумевается отнесение неисправностей к определённому классу или виду (усталость, износ, деформация, фреттинг-коррозия и т.п.). Идентифицируя дефект или повреждение, зная его природу, специалист в дальнейшем может определить причины появления

неисправности и степень её влияния на ТС оборудования. Идентификация выявленных дефектов и повреждений осуществляется путём сравнения их характерных признаков с известными образцами или описаниями, которые для удобства пользования могут собираться и систематизироваться в иллюстрированных каталогах (таблица 5.1).

Таблица 5.1 — Пример каталога (базы данных) описаний неисправностей, дефектов и повреждений

Внешний вид повреждения	Описание повреждения	Причины возникновения
	<p>Осповидное выкрашивание ролика подшипника</p>	<p>Воздействие переменных нагрузок при напряжениях в материале, достигающих предела выносливости.</p>
	<p>Угловое смещение пятна контакта зубчатой передачи</p>	<p>Перекос валов редуктора. Несовпадение углов наклона зубьев шестерни и колеса.</p>
	<p>Хрупкое разрушение металла втулки зубчатой муфты</p>	<p>Перегрузка механизма. Низкое качество поковки. Неправильно выбранная марка стали.</p>

Завершающая стадия заключается в дополнительном осмотре элементов оборудования для уточнения ранее полученных результатов и их регистрации в отчётных формах.

Регистрационные формы — это определённый порядок записи результатов опроса, собственно осмотра и дополняющие их графические изображения деталей и объекта в целом: рисунки, эскизы, чертежи, фотоснимки и т.п. На графических изображениях должны обозначаться точка начала осмотра и его направление, места расположения обнаруженных дефектов и повреждений.

Формализация результатов проведения осмотра осуществляется протоколом осмотра. В протоколе осмотра отражается то, что специалист имел возможным обнаружить при осмотре, в том виде, в котором обнаруженное наблюдалось. Выводы, заключения, предположения специалиста о причинах возникновения дефектов и повреждений остаются за рамками протокола и обычно оформляются отдельным актом или отчётом. Не заносятся в протокол и сообщения лиц о ранее обнаруженных отклонениях, а также произошедших до прибытия специалиста изменениях обстановки. Такие сообщения оформляются самостоятельными протоколами.

К составлению протокола осмотра надо подходить с учётом того, что он может выступать в качестве самостоятельного документа. В этих целях протокол составляется краткими фразами, дающими точное и ясное описание осматриваемых объектов. В протоколе употребляются общепринятые выражения и термины, одинаковые объекты обозначаются одним и тем же термином на протяжении всего протокола. Описание каждого объекта осмотра идёт от общего к частному (вначале даётся общая характеристика осматриваемого оборудования, его расположение на месте осмотра, а затем описывается состояние и частные признаки). Полнота описания объекта определяется предполагаемой значимостью и возможностью сохранения данных. Фиксируются все имеющиеся признаки дефектов и особенно те, которые могут быть со временем утрачены. Каждый последующий объект описывается после полного завершения описания предыдущего. Объекты, связанные между собой, описываются последовательно с тем, чтобы дать более точное представление об их взаимосвязи. Количественные величины указываются в общепринятых метрологических величинах. Не допускается употребление неопределённых величин («вблизи», «в стороне», «около», «рядом», «почти», «недалеко» и пр.). В протоколе отмечается факт обнаружения каждого из следов и предметов, в отношении каждого объекта указывается, что было с ним сделано, какие средства, приёмы, способы были применены. При описании оборудования и отдельных его элементов в протоколе приводятся ссылки на планы, схемы, чертежи, эскизы и фотографии. Каждый осматриваемый элемент оборудования должен иметь отдельную запись о результатах его осмотра. Выводы протокола должны содержать информацию о наличии и характере дефектов, а при невозможности его установления — о необходимости последующего проведения идентификации. [3]

Перечень ссылок

1. Словарь терминов и определений // Консалтинговый проект «ЕАМ».
— <http://eam.su/slovar-terminov-i-opredelenij.html>.

2. Механическое оборудование: техническое обслуживание и ремонт / В.И. Бобровицкий, В.А. Сидоров. — Донецк: Юго-Восток, 2011. — 238 с.
3. Зданевич В., Сидоров В.А. Осмотр механического оборудования как метод технической диагностики // Техническое Обслуживание и Ремонт, 2010. — №4. — С. 12-18.

Вопросы для контроля

1. Какие виды ТС выделяют в зависимости от необходимости проведения ТОиР?
2. В чём заключается отличие между объективными и субъективными методами оценки ТС?
3. Опишите порядок проведения визуального осмотра оборудования.

6. Органолептические методы оценки технического состояния оборудования

6.1. Шумы механизмов

В механических устройствах степень повреждения определяется по характеру взаимодействия контактирующих деталей. Физическое проявление соударения деталей во время работы реализуется в виде распространения упругих волн акустического диапазона, возникновения механических колебаний (вибраций) и ударных импульсов. Несмотря на единую физическую природу, каждое из этих проявлений имеет свои особенности и различным образом отображает происходящие процессы. Упругие волны, порождающие акустические колебания имеют частотный диапазон 20-16000 Гц и прослушиваются в непосредственной близости от оборудования.

Основные наблюдаемые *отклонения акустических шумов*:

- глухие толчки при изменении направления вращения валов механизма соответствуют износу шпоночных или шлицевых соединений, элементов муфт, повышенному зазору в зубчатой передаче;
- слабые стуки низкого тона соответствуют сколам шлицов, ослаблению шпоночного соединения, несоосности соединительных муфт;
- резкий металлический звук сопровождает повреждения соединительных муфт;
- свистящий звук возникает при проскальзывании ремней ременной передачи;
- частые резкие удары соответствуют биениям муфт, а также неправильной сборке валов.

Прослушивание механических колебаний, возникающих при работе механизма, является распространенным методом определения состояния работающего оборудования. Механические колебания низкой и средней частоты легко распространяются по корпусным деталям механизма. Для их прослушивания используется *технический стетоскоп*, состоящий из металлической трубки и

деревянного или текстолитового наушника (рисунок 6.1). Металлическая трубка, установленная на корпусе механизма, позволяет преобразовать механические колебания в акустические, распространяемые по стенкам трубки к наушнику. Этот метод настолько доказал свою надёжность, что требования по прослушиванию шумов механизмов включены во все правила ТО и инструкции по эксплуатации оборудования.



Рисунок 6.1 — Технический стетоскоп:

а) схема;

б) общий вид

Решение задачи распознавания повреждений основывается на знании характерных шумов элементов механизмов.

Характерные шумы *подшипников качения*:

1. Незначительный ровный шум низкого тона свидетельствует о нормальном состоянии подшипника качения.
2. Глухой прерывистый шум — о загрязнённости смазки.
3. Звонящий (металлический) шум — о недостаточной смазке, возникает также при повышенном радиальном зазоре.
4. Свистящий шум указывает на взаимное трение скольжения деталей подшипникового узла.
5. Скрежет, резкое частое постукивание возникает при повреждениях сепаратора или тел качения.
6. Глухие периодические удары — результат ослабления посадки подшипника, дисбаланса ротора.
7. Воющий звук, скрежетание, гремющий шум, интенсивный стук указывают на повреждение элементов подшипника.

Решение задачи распознавания повреждений основывается на знании характерных шумов элементов механизмов.

Характерные шумы *зубчатых передач*:

1. Ровный жужжащий шум низкого тона характерен для нормальной работы зубчатой передачи. Косозубая передача в этом случае имеет ровный воющий шум низкого тона.
2. Шум высокого тона, переходящий с увеличением частоты вращения в свист и вой, и непрерывный стук в зацеплении происходят при искажении формы работающих поверхностей зубьев или при наличии на них местных дефектов.

3. Дребезжащий металлический шум, сопровождающийся вибрацией корпуса, возможен вследствие малого бокового зазора или несоосности, непараллельности колес.
4. Циклический (периодический) шум, появляющийся с каждым оборотом колеса, то ослабевающий, то усиливающийся, указывает на эксцентричное расположение зубьев относительно оси вращения.
5. Циклические удары, грохот, глухой стук свидетельствуют об изломе зуба.

Характерные шумы *подшипников скольжения*:

1. Монотонный и шелестящий шум соответствует нормальной работе.
2. Свист высокого тона, скрежет соответствуют отсутствию смазки.
3. Периодические удары, резкое металлическое постукивание соответствуют задирам на поверхности подшипников скольжения, несоосности валов и выкрашиванию.
4. Звонящий металлический шум соответствует недостаточному количеству смазки.
5. Циклические удары низкого тона соответствуют повышенной вязкости масла.

Звон металлических деталей при ударе, например, молотком, используется для определения наличия дефектов. Звук, издаваемый стальной деталью, содержащей дефект, дребезжащий, более низкий и глухой по сравнению со звуком бездефектной детали, имеющей чистый, высокий звук. Данный метод достаточно эффективен применительно к контролю затяжки резьбовых соединений, целостности деталей простой формы. В более сложных случаях его использование ограничено.

Каждый механизм содержит две причины шумов: механического и электрического характера. Воющий звук, исчезающий при отключении питания электродвигателя, указывает на повреждения в электрической части мотора.

Значительные повреждения приводят к нарушению повторяемости шумовой картины. Степень повреждения определяется интенсивностью шума. Шум, вызывающий болевые ощущения при прослушивании техническим стетоскопом, является пределом эксплуатации деталей.

Указанные виды шумов в истинном виде проявляются редко. Акустическая картина механизма составляется из совокупности шумов всех элементов, определяется размерами, характером смазывания, нагрузками, температурой и другими факторами. Поэтому приведенная классификация служит исходной информацией при расшифровке конкретной акустической картины механизма. Качество расшифровки и правильность постановки диагноза зависит от квалификации, подготовленности и опыта персонала.

Основная рекомендация — при появлении высокочастотного резкого шума следует провести осмотр узла — это позволит уточнить характер и степень повреждения. [1]

6.2. Вибрация механизмов

Наибольшая чувствительность при воздействии вибрации на человека наблюдается при частоте 100-300 Гц. Распознать частоту колебаний практически

невозможно, если эти колебания происходят с частотой свыше 5 Гц. Человек ощущает дискомфорт, находясь рядом с машиной, генерирующей частоты, совпадающие с резонансными частотами частей тела (преимущественно низкочастотные колебания). Если колебания настолько редки, что глаз различает каждое из них в отдельности, то частота определяется подсчетом полных колебаний за некоторый промежуток времени. С уменьшением размаха колебаний точность глазомерного восприятия уменьшается.

Используются различные *методы визуализации механических колебаний*.

Характер прямой линии, проведенной по бумаге, лежащей на корпусе механизма, позволяет качественно оценить частоту и интенсивность колебаний (рисунок 6.2). При этом регистрируются колебания в направлении, перпендикулярном направлению движения карандаша. Скорость перемещения карандаша должна быть как можно более постоянной.

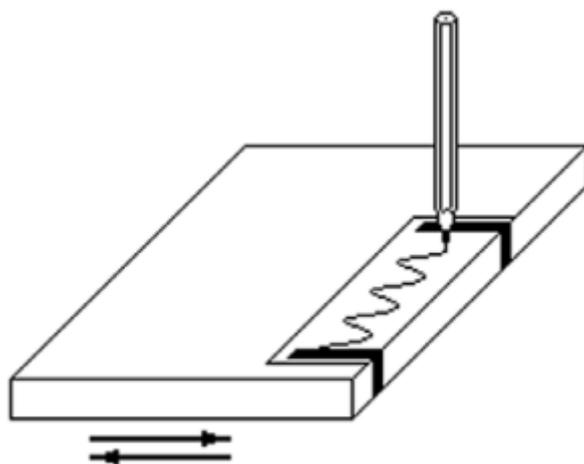


Рисунок 6.2 — Пример «ручной» записи механических колебаний

Для сравнения размаха колебаний различных узлов механизма, колеблющихся в вертикальной плоскости возможно использование мелких вспомогательных предметов. Различное поведение монет, гаек, шайб, песка в различных местах механизма поможет выявить узлы с наибольшей вибрацией. Однако данный индикатор нечувствителен к высокочастотным колебаниям.

В случае необходимости регистрации относительно больших амплитуд колебаний (0,5-10 мм) с точностью до 0,5 мм при малой частоте (10-20 Гц) возможно применение мерного клина. Мерный клин (рисунок 6.3) наклеивается на исследуемый объект. Наличие пространственных компонентов вибрации, действующих перпендикулярно к измеряемой плоскости, может исказить результат. Поэтому мерный клин применяется главным образом для измерения прямолинейной вибрации, в частности колебаний: сит, грохотов, вибростендов.

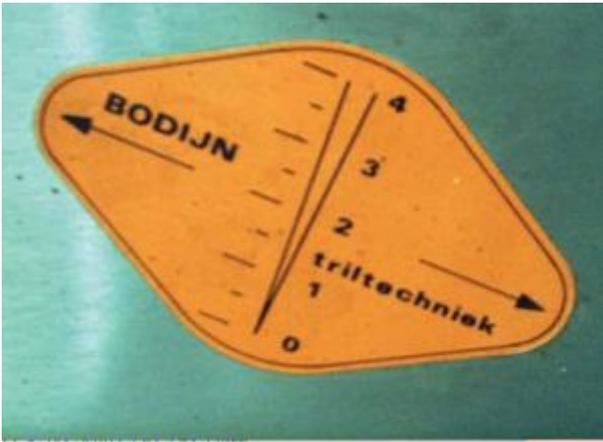


Рисунок 6.3 — Установка мерного клина для измерения амплитуды колебания вибрационного дозатора

Поверхность жидкости, в резервуаре, установленном или соединённом с вибрирующим объектом, приобретает заметную волнистость. Характер волн определяется частотой колебаний, а высота волны зависит от амплитуды колебаний. Иногда такие наблюдения позволяют сделать предварительные выводы о параметрах вибрации. Например, при боковом освещении поверхности воды можно обнаружить наличие вибрации при амплитудах менее 10 мкм без дополнительного увеличения. [2]

6.3. Контроль температуры механизмов

Температура нагрева корпусов механизмов, как диагностический параметр, имеет две особенности:

- появление некоторых видов неисправностей вызывает повышение температуры корпуса механизма;
- инерционность нагрева металлических деталей, корпусов и опор не позволяет использовать данный параметр для определения внезапных отказов и зарождающихся повреждений.

ПТЭ регламентируют предельную температуру корпусов подшипников, которая не должна превышать температуру окружающей среды более чем на 40 °С и быть не выше 60-80 °С. Для некоторых механизмов, имеющих циркуляционную систему смазки или охлаждения, оценивают разницу температур масла или воды на выходе и входе. Это позволяет контролировать тепловые процессы, общее состояние оборудования, а также степень его ухудшения. Обычно разница температур на выходе и входе не должна превышать 5-10 °С.

Пределом для непосредственного восприятия является температура 60 °С — выдерживаемая тыльной стороной ладони без болевых ощущений в течение 5 с. Использование дополнительных средств — брызг воды позволяет контролировать значения 70 °С — видимое испарение пятен воды и 100 °С — кипение воды внутри капли на поверхности корпусной детали.

Основные причины, вызывающие повышение температуры:

- *дефекты системы смазывания:*

- недостаточное или избыточное количество смазки;
- загрязнение смазки;
- неверный выбор смазочного материала;
- *повреждения подшипников качения:*
 - износ или повреждение колец или тел качения;
 - разрушение сепаратора;
 - проворачивание подшипника на валу или в корпусе;
- *дефекты изготовления и сборки:*
 - отсутствие осевых зазоров;
 - малый радиальный зазор;
 - дефекты корпусных деталей;
 - защемление наружного кольца подшипника;
- *дефекты регулировки:*
 - подшипник сильно зажат;
 - перекос подшипника или вала;
 - неправильное центрирование электродвигателя с приводом;
- *повреждения уплотнительных устройств;*
- *повреждения системы охлаждения:*
 - недостаточная подача охлаждающей воды;
 - высокая температура воды на входе.

Расширить диапазон субъективно воспринимаемых температур возможно при помощи зрительного восприятия, используя цвета побежалости и цвета каления (рисунок 6.4).

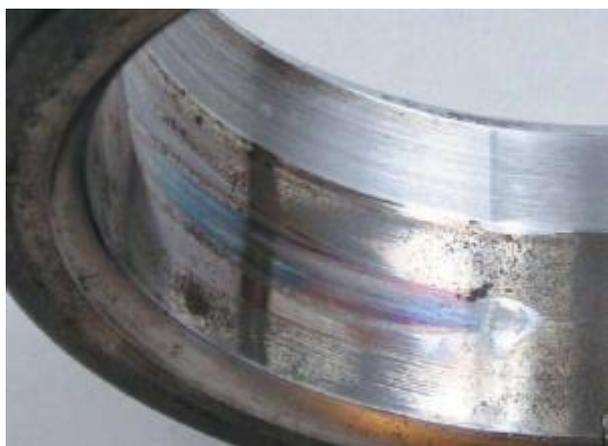


Рисунок 6.4 — Цвета побежалости и цвета каления:

а) цвета побежалости на посадочной поверхности внутреннего кольца подшипника при схватывании и провороте;

б) изменение цветов каления при охлаждении непрерывно литой заготовки на холодильнике МНЛЗ

Степень нагрева детали или заготовки при термической обработке, например, во время закалки, может быть определена по цвету каления.

Цвета каления и соответствующие температуры (°С) для стальных изделий:

- тёмно-коричневый, слабое свечение в темноте — 530-580;

- коричнево-красный — 580-650;
- тёмно-красный — 650-730;
- тёмно-вишнёво-красный — 730-770;
- вишнёво-красный — 770-800;
- светло-вишнёво-красный — 800-830;
- светло-красный — 830-900;
- оранжевый — 900-1050;
- тёмно-желтый — 1050-1150;
- светло-жёлтый — 1150-1250;
- ярко-жёлтый — 1250-1300.

Указанные цвета могут несколько изменяться по отношению к конкретным маркам сталей, однако характер изменения цветности остаётся неизменным.

Цвета побежалости предоставляют информацию о степени нагрева детали во время поломки, перед отпуском или о перегреве детали во время сборки.

Цвета побежалости и соответствующие температуры (°С) для углеродистой стали:

- светло-жёлтый (соломенный) — 220;
- тёмно-жёлтый — 240;
- коричнево-жёлтый — 255;
- коричнево-красный — 265;
- пурпурно-красный — 275;
- фиолетовый — 285;
- васильково-синий — 295;
- тёмно-синий — 315;
- серый — 330.

6.4. Дополнительные методы оценки технического состояния оборудования

Визуальный осмотр широко используется при проведении осмотров и ревизий машин и механизмов, осуществляется исходя из возможностей человеческого зрения, основным недостатком которого является то, что при малой освещенности ему не помогают лучшие оптические приборы. В настоящее время отсутствуют средства, способные реализовать функции, выполняемые человеком при визуальном осмотре. Отличительной особенностью визуального осмотра являются трудности при формализации процесса решения задачи распознавания. Необходимо отметить субъективность восприятия зрительной информации. Человек видит то, что знает. Незнакомые, неопознанные мозгом предметы остаются вне поля зрения. Поэтому важнейшим вопросом является определение диагностических, различаемых особенностей осматриваемой поверхности.

Трещины — это разрывы, преимущественно двухмерного характера, ограничивающие поверхности трещин часто располагаются перпендикулярно к поверхности детали.

Абразивный износ — участки с повышенной шероховатостью вдоль направления действия абразива.

Пятно ржавчины — дефект поверхности в виде пятен или полос с рыхлой структурой окисной плёнки.

Вмятина — дефект поверхности в виде произвольно расположенных углублений различной формы, образовавшихся вследствие повреждений и ударов поверхности.

Риска — дефект поверхности в виде канавки без выступа кромок с закругленным или плоским дном, образовавшийся от царапания поверхности металла.

Задир — повреждение поверхности в виде широких и глубоких борозд в направлении скольжения.

Царапание — образование углублений на поверхности трения в направлении скольжения при воздействии выступов твёрдого тела или твёрдых частиц с рабочей поверхностью детали.

Отслаивание — отделение с поверхности трения материала в форме чешуек.

Выкрашивание — отделение с поверхности трения материала, приводящее к образованию углублений на поверхности трения.

Схватывание — явление местного соединения материалов сопряжённых поверхностей при трении вследствие взаимодействия молекулярных сил.

Перенос металла — явление, состоящее в местном соединении материалов сопряжённых поверхностей, последующем его отрыве и переходе материала на другую поверхность.

Заедание — процесс возникновения и развития повреждений поверхностей трения вследствие схватывания и переноса материала.

Основные задачи, решаемые в визуальном осмотре:

- определение причин и характера разрушения и износа деталей по виду поверхности износа или излома;
- обнаружение трещин корпусных деталей, опор или основания;
- контроль поступления смазочного материала, наличия утечек масла (признак, определяющий избыток смазки, неисправность уплотнений или ослабление резьбовых соединений);
- контроль биения валов (свидетельствуют о повреждениях подшипников), муфт (свидетельствуют о повреждениях муфт либо о неправильной центровке валов), затяжки резьбовых соединений.

Колебания масляной или водной плёнки, появление пузырей в местах соединений деталей — результат ослабления резьбовых соединений. На это указывает и появление порошка красного цвета (окиси железа) в местах относительного перемещения деталей из-за насыщения поверхностных слоёв металла кислородом при воздействии растягивающих напряжений. Наличие чёткой

разделительной линии между корпусом механизма и фундаментом определяет необходимость затяжки резьбовых соединений.

К визуальным методам может быть отнесен и метод диагностирования редукторов *по значению мёртвого хода*: при неподвижном выходном вале проворачивают входной до выбора зазоров в зубчатых передачах и по значению угла поворота входного вала судят о степени износа зубьев.

Симптомы неисправности при контроле поступления смазочного материала зависят от способа *смазывания*. При контроле количества масла в редукторе по уровнемеру или по масляному шупу — это уровень меньший, чем нижний допустимый предел. Проверка работы насоса подачи масла включает поиск утечек и проверку давления масла по манометру, которое должно соответствовать проектному диапазону.

Работа питателей проверяется в случае использования пластичных смазочных материалов. Симптом неисправности питателей — неравномерная работа штоков либо отсутствие перемещения при переключении системы смазывания.

В случае установки расходомера контролируется расход масла, который должен отвечать стандартному значению. Визуально определяется степень просачивания пластичного смазочного материала из уплотнительной части — чрезмерное просачивание или сухая уплотнительная часть являются симптомами неисправности.

Состояние обрызгивания маслом зубчатых колёс проверяется через смотровое стекло (определяется недостаточность или неравномерность обрызгивания). На смотровом стекле при удовлетворительном смазывании обычно наблюдается несколько капель масла.

Изменение цвета (рисунок 6.5) масла указывает на наличие загрязняющих веществ. Вода в смазке приводит к появлению мутно-белого цвета. Светлые масла рассматриваются в проходящем свете на прозрачность. Для тёмных масел ёмкость с маслом подогревается до 80 °С, потрескивание в ходе нагрева свидетельствует о присутствии воды. Присутствие воды в смазочном материале не приводит к существенному изменению характеристик смазочного слоя, однако возникающие коррозионные процессы провоцируют абразивный износ.



Рисунок 6.5 — Изменение цвета масла от бесцветного до жёлтого в течение четырёх лет эксплуатации

Цвет пластичной смазки может изменяться от светло-жёлтого до тёмно-коричневого. О наличии примесей свидетельствует золотистый цвет в случае подшипников скольжения и более тёмный цвет в случае подшипников качения.

Вязкость масла должна отвечать стандартному значению. Помимо лабораторных способов вязкость может оцениваться визуально и на ощупь. Пластичная смазка должна быть гладкой и мягкой, без посторонних включений.

Присутствие абразивных механических примесей в маслах определяют пробой на истирание. На чистое плоское стекло наносят несколько капель испытуемого масла и закрывают вторым стеклом. Передвигают стёкла одно относительно другого, плотно прижав их пальцами. Если в масле присутствуют абразивные механические примеси, то слышен характерный скрип. [2]

Перечень ссылок

1. Сидоров В.А. Органолептические методы технического диагностирования механического оборудования // Металлообработка: оборудования и технологии для профессионалов, 2008. — №5. — С. 18-21.
2. Сидоров В.А. Органолептические методы технического диагностирования механического оборудования // Металлообработка: оборудования и технологии для профессионалов, 2008. — №6. – С. 18-22.

Вопросы для контроля

1. Перечислите основные отклонения акустических шумов и назовите их причины.
2. Опишите методы визуализации механических колебаний.
3. Как определить предельную температуру корпуса подшипника без вспомогательных средств?
4. Какие виды дефектов и повреждений можно выявить при визуальном осмотре?

7. Виды износа и поломки деталей

7.1. Виды механического износа

Механический износ — процесс постепенного разрушения поверхностей деталей при относительном движении.

Основная функция визуального осмотра трущихся поверхностей — определение вида изнашивания и постановка диагноза, позволяющая принять рациональные ремонтные воздействия, снижающие скорость износа. [1]

Основные виды механического износа приведены в таблице 7.1 [2].

Таблица 7.1 — Основные виды механического износа

Условия возникновения	Механизм разрушения	Проявление
<i>Износ схватыванием первого рода</i>		
<ul style="list-style-type: none"> • трение скольжения; • малая скорость относительного движения (для стальных деталей — до 1 м/с); • высокое давление, превышающее предел текучести на фактических площадках контактов; • отсутствие смазки или защитной плёнки окислов между трущимися деталями; • низкая температура нагрева поверхностных слоёв (до 100 °С). 	<p>Характеризуется возникновением адгезионных связей между деталями с последующим их разрушением.</p>	<p>На контактной поверхности детали из менее прочного материала образуются хаотически расположенные вырывы, а на детали из более прочного материала — налипания.</p> 
<i>Износ схватыванием второго рода</i>		
<ul style="list-style-type: none"> • трение скольжения; • высокая скорость относительного перемещения (свыше 4 м/с); • высокое давление, превышающее предел текучести на фактических площадках контактов; • высокая температура в поверхностных слоях (до 1600 °С). 	<p>Первая стадия (температура до 600 °С, механические свойства материалов снижаются мало).</p>	<p>Вырывы частиц на детали из менее прочного материала, чередующиеся через примерно одинаковые промежутки.</p>
	<p>Вторая стадия (температура 600-1400 °С, размягчение металла, заметное снижение механических свойств материалов).</p>	<p>На контактной поверхности более прочной детали видны налипания и размазыванием металла, а на поверхности менее прочной — вырывы.</p>

	<p>Третья стадия (температура выше 1400 °С, расплавленные слои металла уносятся со смазкой).</p>	<p>Оплавленные борозды.</p> 
<i>Окислительный износ</i>		
<ul style="list-style-type: none"> • трение качения или трение скольжения; • скорость относительного движения деталей 1,5-7,0 м/с (без смазки) и до 20 м/с (со смазкой). 	<p>Определяется взаимодействием материала деталей с кислородом окружающей среды с образованием твёрдых растворов и плёнок окислов, защищающих исходные материалы от интенсивного износа. Изнашивание поверхностей заключается в периодическом появлении и скалывании твёрдых и хрупких окисных плёнок. Минимальная скорость изнашивания.</p>	<p>Матовые полосы, состоящие из плёнок оксидов, твёрдых растворов и химических соединений металла с кислородом.</p> 
<i>Осповидный износ</i>		
<ul style="list-style-type: none"> • трение качения; • переменные или знакопеременные нагрузки; • высокие давления, достигающие предела выносливости. 	<p>Многokратные нагружения вызывают усталость металла. На плоскостях максимальных напряжений внутри детали зарождаются трещины. Их развитие приводит к разрыву</p>	<p>В местах образования сколов на контактных поверхностях появляются осповидные углубления. Наиболее характерный вид изнашивания деталей подшипников качения.</p>

	<p>контактной поверхности. Движение тел качения через разрыв поверхности сопровождается динамическими явлениями, в результате чего износ прогрессирует.</p>	
Абразивный износ		
<ul style="list-style-type: none"> • трение скольжения; • наличие на поверхностях трения абразивных частиц. 	<p>Абразивные частицы деформируют микрообъёмы поверхностных слоёв и вызывают процессы микрорезания.</p>	<p>Однозначно ориентированные по отношению к направлению движения риски различной глубины и протяжённости.</p> 

К эрозионным видам износа относят [1]:

- *эрозионное изнашивание* — твёрдые частицы, движущиеся в потоке газа или жидкости, оказывают на поверхность металла многократные локальные импульсные удары, вызывающие расшатывание и вымывание поверхностного слоя деталей (эрозию);
- *электроэрозионное изнашивание* — эрозионное изнашивание поверхности в результате воздействия электрического тока, при этом происходит частичный перенос металла с одного контакта на другой и распыление металла;
- *кавитационное изнашивание* — гидроэрозионное изнашивание при движении твёрдого тела относительно жидкости и наоборот, при котором пузырьки газа захлопываются вблизи поверхности, создавая местное повышение давления.

К дополнительным видам износа относят (таблица 7.2) [3].

7.2. Виды разрушений и изломов

Излом — разрушение детали, вызванное низким качеством материала, дефектами изготовления, нарушением правил эксплуатации, случайными механическими повреждениями и другими факторами. [1]

Вид излома позволяет определить причины его возникновения (таблица 7.3).

Таблица 7.2 — Дополнительные виды износа

Условия возникновения	Проявление	Фото
Износ при прохождении электрического тока		
<ul style="list-style-type: none"> • прохождение электрического тока через узел. 	<p>Пятна в местах контакта деталей.</p>	
Коррозионный износ		
<ul style="list-style-type: none"> • конденсация влаги в узле; • отсутствие смазочного материала. 	<p>Начинается с поверхности. Бывает сплошной (покрывает ровным слоем и изменяет шероховатость поверхности деталей, не образуя отдельных очагов) и местный (наблюдается в виде пятен, глубина которых изменяется от незначительного точечного углубления до язвин).</p>	

Таблица 7.3 — Основные виды изломов

Внешний вид	Характер развития	Причина возникновения
Вязкое разрушение		
<p>Имеет волокнистое строение, без кристаллического блеска (неровные участки рассеивают свет — поверхность излома кажется матовой). Характерным признаком является наличие боковых скосов по краю излома.</p>	<p>Сопровождается интенсивной пластической деформацией материала детали. Первичные изломы редко бывают вязкими. Относительно медленно развивающаяся вязкая трещина либо заблаговременно обнаруживается, либо из-за чрезмерной пластической деформации деталь ещё до разрушения перестаёт выполнять свои функции.</p>	<p>Воздействие значительных кратковременных сил, возникающих при заклинивании механизма или нарушении технологического режима. Может иметь место при длительном действии сил, вызывающих напряжения, превышающие предел текучести материала детали.</p>

<i>Хрупкое разрушение</i>		
Имеет ярко выраженное кристаллическое строение у недеформируемых материалов и гладкое от сдвига у мягких материалов. Кромки изломов гладкие, ровные, без сколов или с небольшими сколами. Скол на хрупком изломе указывает место долома (окончания разрушения).	В большинстве случаев начинают развиваться в зонах концентрации напряжений (в местах приварки элементов жёсткости, пересечения сварных швов, у отверстий и галтелей, в зонах резкого изменения толщины). Очагами часто являются дефекты сварки (горячие и холодные трещины, непровары, подрезы, шлаковые включения, поры, расслоения металла).	Происходит внезапно при однократном приложении силы или под действием повторных ударных сил при малой степени местной пластической деформации.
<i>Усталостное разрушение</i>		
Чётко выделены: зона усталостного разрушения, имеющая мелкозернистое строение, с фарфоровидной или шлифованной поверхностью; зона статического разрушения — с волокнистым строением у пластичных металлов и крупнозернистым у хрупких.	Возникают в процессе постепенного накопления повреждений в материале деталей, находящихся под действием переменных напряжений, которые приводят к образованию микротрещин, их развитию и окончательному разрушению детали.	Является одним из основных видов повреждения от действия циклических нагрузок.

Правила при очистке и осмотре излома [1]:

- не удалять с поверхности излома неплотно прилегающие фрагменты;
- не пытаться сложить вместе части разрушенной детали;
- не протирать излом ветошью и щётками;
- очистка излома проводится обдувкой сжатым воздухом с последующим погружением в керосин.

Особенности *дефектов закалки* приведены в таблице 7.4. [1]

Таблица 7.4 — Дефекты закалки

Проявление	Причина
Закалённый слой мелкозернистый, равномерный.	Температурный режим выдержан.
Поверхность излома волокнистая, напильник оставляет заметный след на детали.	Изделие не было нагрето до необходимой температуры.
Поверхность излома неравномерная по зернистости.	Изделие было нагрето до более высокой температуры, чем требовалось.
Излом крупнозернистый, с сильным белым блеском.	Изделие было нагрето до чрезмерно высокой температуры и находилось при этой температуре продолжительное время.
Излом неоднородный, местами незакалённые и хорошо закалённые зёрна, на рёбрах и тонких частях наблюдаются пережжённые зёрна.	Изделие было нагрето слишком быстро и неравномерно.

7.3. Повреждения подшипников качения

Следы *радиальной силы, приложенной в одной точке, постоянной по направлению*, при вращающемся внутреннем и неподвижном наружном кольце проявляются в виде непрерывного следа на внутреннем кольце и местном изнашивании наружного кольца (рисунок 7.1). [3]



Рисунок 7.1 — Следы радиальной силы, постоянной по направлению:

а) непрерывный след износа на внутреннем кольце;

б) местное изнашивание наружного кольца

Если неподвижным является внутреннее кольцо, а подвижным наружное, тогда воздействие постоянной радиальной силы проявится в виде непрерывного следа износа на наружном кольце и местном изнашивании внутреннего кольца.

При *деформации наружного кольца подшипника* в результате отклонений формы посадочного места на наружном неподвижном кольце появится осповидное выкрашивание в двух точках (рисунок 7.2).



Рисунок 7.2 — Осповидное выкрашивание в двух местах на беговой дорожке наружного кольца двухрядного сферического радиального роликоподшипника при отклонении формы посадочного места крышки подшипника

Радиальная сила, приложенная в одной точке, совершающая периодическое колебательное движение в ограниченном секторе приводит к местному изнашиванию наружного и внутреннего колец подшипника (рисунок 7.3). Такой вид изнашивания характерен для шарнирных механизмов, в которых вал совершает колебательные движения.



Рисунок 7.3 — Местное изнашивание беговой дорожки наружного кольца двухрядного радиального роликоподшипника при колебательном движении

Радиальная сила, вращающаяся вместе с валом, приведёт к появлению постоянного следа износа на неподвижном наружном кольце и местного выкрашивания на внутреннем кольце (рисунок 7.4).



Рисунок 7.4 — Местное выкрашивание внутреннего кольца шарикоподшипника при вращающейся радиальной силе, неподвижном наружном кольце и одновременном воздействии осевой силы

Осевая сила, действующая в продольном направлении, вызывает смещение следов износа на кольцах подшипника (рисунок 7.4). Дополнительно, о воздействии осевой силы можно судить по наличию засветлений на торцах роликов (рисунок 7.5).



Рисунок 7.5 — Высветления на торцах роликов одной из беговых дорожек двухрядного радиального роликоподшипника при воздействии осевой силы

В подшипниковом узле имеются как неподвижные, так и подвижные контактирующие поверхности деталей. Осмотр подшипника качения проводится последовательно от посадочной поверхности подшипника в корпусе механизма к посадочной поверхности внутреннего кольца на вал.

Если поверхности внутреннего кольца и вала неподвижны, то внутреннее кольцо подшипника имеет матовую поверхность (рисунок 7.6).



Рисунок 7.6 — Матовая поверхность внутреннего кольца подшипника при неподвижной посадке на вал

Ослабление посадки подшипника в результате ошибок монтажа, эксплуатации часто приводит к проворачиванию подшипника на валу и в корпусе (рисунок 7.7). Проворот подшипника сопровождается увеличением температуры узла, изменением характера шума и вибрации и приводит к недопустимому износу корпусных деталей.



Рисунок 7.7 — Следы проворачивания колец подшипника

Фреттинг-коррозия возникает при перемещении контактирующих поверхностей под воздействием переменных сил или вибраций. Проявляется в виде интенсивного окисления поверхностей, тёмных пятен на посадочных поверхностях колец подшипников (рисунок 7.8). Приводит к стуку, ударам при работе подшипника. При дальнейшем развитии может служить причиной зарождения усталостных трещин.



Рисунок 7.8 — Следы фреттинг-коррозии на посадочной поверхности колец шарикоподшипника:

а) внутреннего;

б) наружного

Если нагрузка неравномерно распределяется по длине ролика или между рядами тел качения двухрядного подшипника (рисунок 7.9), то долговечность подшипника значительно снижается. Причина — *перекос корпуса подшипника*.



Рисунок 7.9 — Неравномерное выкрашивание при изгибе вала:

а) по длине роликов радиального роликоподшипника;

б) по беговым дорожкам двухрядного радиального сферического шарикоподшипника

Осмотр внешних торцевых поверхностей колец подшипника позволяет подтвердить *проворачивание колец* или определить наличие контакта подшипника с рядом расположенной деталью (рисунок 7.10).



Рисунок 7.10 — Кольцевые риски на торцевой поверхности внутреннего кольца — результат контакта кольца подшипника с неподвижной деталью

Осмотр беговых дорожек внешнего и внутреннего колец позволяет установить характер контакта тел качения и беговой дорожки. *Перекося вала* относительно корпуса подшипника может быть зафиксирован по треугольному следу при колебательном характере нагружения подшипника (рисунок 7.11).



Рисунок 7.11 — Треугольная форма контакта кольца с роликом при перекосе вала относительно корпуса двухрядного роликового радиального подшипника

Трещины поперек беговых дорожек — результат воздействия *динамических нагрузок, ударов или ошибок монтажа* (рисунок 7.12а). Сколы бортов колец — результат динамических воздействий осевой силы (рисунок 7.12б).



Рисунок 7.12 — Результаты воздействия ударной нагрузки:

а) поперечная трещина на кольце подшипника;

б) сколы бортов кольца

Трещины, расположенные вдоль кольца подшипника, — результат *отсутствия тепловых зазоров* при нагреве механизма. Возникающая при тепловом расширении осевая сила приводит к исчезновению радиального зазора и возникновению значительных радиальных сил, способных привести к разрушению наружного кольца (рисунок 7.13).



Рисунок 7.13 — Разрушение наружного кольца шарикоподшипника при отсутствии теплового зазора

Увеличенная осевая игра пары радиально-упорных шариковых подшипников приводит при возникновении продольной силы к появлению гранности или к осповидному выкрашиванию на нерабочей части беговой дорожки (рисунок 7.14).



Рисунок 7.14 — Нерабочая часть беговой дорожки радиально-упорного шарикового подшипника при увеличенной осевой игре и продольном нагружении:

а) гранность;

б) осповидное выкрашивание

Бринеллирование проявляется в появлении вмятин на беговых дорожках с шагом, равным шагу тел качения. Оно является следствием ударных воздействий во время монтажа (рисунок 7.15).



Рисунок 7.15 — Бринеллирование на беговых дорожках упорного шарикоподшипника — вмятины с шагом, равным шагу тел качения

Ложное бринеллирование возникает при оттоке смазки с поверхностей качения подшипников *неработающей* машины в результате механических колебаний, передающихся от работающих механизмов. Проявляется в виде повреждений рабочей поверхности подшипника, расположенных с шагом равным шагу тел качения (рисунок 7.16).



Рисунок 7.16 — Следы ложного бринеллирования на рабочей поверхности наружного кольца роликового радиально-упорного конического однорядного подшипника

Повреждения сепаратора — наиболее серьёзный вид повреждений. При повреждениях сепаратора возможны повреждения других деталей вследствие вибрации, износа, заклинивания и перекосов (рисунок 7.17). Наиболее распространённая причина разрушения сепаратора — *проблемы смазывания и деформации наружных колец*. Это приводит к возникновению неравномерных сил по телам качения и воздействию разрушающих сил на сепаратор.



Рисунок 7.17 — Разрушение сепаратора

Подшипники качения подлежат замене при наличии одного из следующих повреждений [4]:

- усталостные или коррозионные раковины на дорожках и телах качения;
- трещины, сколы бортов, колец, тел качения;
- трещины, излом сепаратора;
- износ, обрыв заклёпок сепаратора;
- забоины на сепараторе;
- задиры, рифление, выработка или вмятины на рабочих поверхностях колец и тел качения;
- поверхностная коррозия или цвета побежалости на рабочих поверхностях;
- увеличение радиального зазора.

7.4. Повреждения зубчатых передач

На работоспособность зубчатого зацепления влияют такие *внешние факторы*:

1. *Значение прилагаемой силовой нагрузки* определяет следующий характер повреждений на рабочей поверхности:

- номинальная нагрузка не приводит к изменению формы зуба и не оставляет следов деформации на рабочей поверхности зубчатой передачи (рисунок 7.18);



Рисунок 7.18 — Отсутствие деформаций — признак воздействия номинальной нагрузки:

а) рабочая поверхность зубьев;

б) торцевая поверхность зубьев

- переменные или знакопеременные силы, приводят к появлению на площадках контакта напряжений, превышающих предел выносливости материала, оставляют на рабочей поверхности осповидные углубления, вызываемые усталостью материала (рисунок 7.19);



Рисунок 7.19 — Превышение предела выносливости материала приводит к осповидному выкрашиванию рабочей поверхности:

а) начальная стадия;

б) дальнейшее развитие;

в) предельное состояние

- пластические сдвиги на рабочей поверхности зубьев происходят при превышении напряжений, действующих на площадках контактов, предела текучести, поверхностный слой металла перемещается от делительного диаметра к вершине зуба, образуя выступ (рисунок 7.20);



Рисунок 7.20 — Пластические сдвиги на рабочей поверхности зубчатой передачи — напряжения на площадках контактов превысили предел текучести:

а) начальная стадия;

б) дальнейшее развитие

2. Промежуточными проявлениями действующих сил являются: отслаивание частиц металла с рабочей поверхности зубьев, наклёп из-за сильных ударов при наличии зазора в зацеплении.
3. *Характер прилагаемой силовой нагрузки* связан с постоянством или непостоянством частоты вращения, изменением направления вращения, значением динамической составляющей. Динамические удары часто приводят к изломам зубьев (рисунок 7.21). При увеличении частоты вращения увеличиваются требования к точности изготовления и установки зубчатых передач, в противном случае — увеличивается износ зубьев. В нереверсивных передачах в обязательном порядке следует осматривать обратную (нерабочую) поверхность зуба. На ней могут проявляться ошибки изготовления или монтажа. Например, из-за малого бокового зазора на обратной поверхности зуба могут появиться следы контакта (рисунок 7.22).



Рисунок 7.21 — Излом зубьев из-за воздействия динамических ударов



Рисунок 7.22 — Пятно контакта на нерабочей поверхности зуба колеса

4. *Наличие абразивных частиц или веществ, вызывающих коррозию*, приводит к абразивному износу, коррозии поверхности зубьев, способствует возникновению газовой или жидкостной эрозии. Основная причина коррозии — наличие воды в смазочном материале — проявляется в виде равномерного (рисунок 7.23а) или неравномерного слоя (рисунок 7.23б) ржавчины на поверхности зубьев.



Рисунок 7.23 — Следы коррозии на поверхности зубьев:

а) равномерный слой;

б) неравномерный слой

5. Первоначальное проявление абразивного износа — появление царапин или рисок на рабочей поверхности в направлении движения абразивного материала (рисунок 7.24). Развитию абразивного износа способствует использование загрязнённой или пластичной смазки, являющейся аккумулятором абразивных частиц. У изношенных передач повышаются зазоры в зацеплении; усиливаются шум, вибрация и динамические перегрузки; искажается форма зуба; уменьшаются размеры поперечного сечения и прочность зуба (рисунок 7.25).



Рисунок 7.24 — Начальная стадия абразивного износа колеса шестерённого насоса — появление рисок на рабочей поверхности зубьев



Рисунок 7.25 — Предельная стадия абразивного износа кремальерной шестерни

На работоспособность зубчатого зацепления влияют такие *внутренние факторы*:

1. *Неподвижность посадочных поверхностей* зубчатого колеса и вала удовлетворяет требованиям в том случае, если сопрягаемые детали неподвижны при приложении нагрузки (рисунок 7.26а). Появление малых перемещений сопрягаемых деталей приводит к фреттинг-коррозии, проявляющейся в виде тёмных пятен на посадочной поверхности (рисунок 7.26б).



Рисунок 7.26 — Состояние посадочных поверхностей зубчатого колеса и вала:

а) неподвижная посадка;

б) малые перемещения сопрягаемых деталей

2. В дальнейшем появляются следы взаимного перемещения сопрягаемых поверхностей в виде блестящих полированных участков поверхности. Это

увеличивает скорость развития процессов износа, создавая предпосылки для возникновения ударов на последней стадии развития повреждения. При раскрытии стыка сопрягаемых деталей жёсткость соединения уменьшается, возникают динамические удары, приводящие к наклёпу и разрушению.

3. *Характер взаимодействия контактирующих поверхностей* определяется видом трения на контактирующих поверхностях. Если преобладает жидкостное трение, обеспечивающее минимальный коэффициент трения, и происходит полное разделение контактирующих поверхностей слоем масла, то состояние оценивают как хорошее. В этом случае преобладающим является окислительный износ (рисунок 7.27). Возникновение граничного трения приводит к контакту деталей, проявляясь в полировании рабочей поверхности зубчатых передач (рисунок 7.28). Часто граничное трение проявляется на начальной стадии приработки новых зубчатых колес.



Рисунок 7.27 — Окислительный износ поверхности зубчатой передачи при жидкостном трении



Рисунок 7.28 — Полированная поверхность зуба — признак граничного трения

Отсутствие смазки между контактирующими поверхностями приводит к повышению температуры, разрушению поверхностных твёрдых плёнок окислов и возникновению адгезионных связей между контактирующими поверхностями. Для тяжело нагруженных высокоскоростных зубчатых передач наиболее характерное проявление — вырывы металла на вершинах зубьев (рисунок 7.29). Для их предотвращения рекомендуют обеспечить постоянное смазывание контактирующих поверхностей, в том числе, путём правильного выбора смазочного материала. Такие повреждения нарушают характер зацепления зубьев, увеличивают скорость износа и создают концентраторы напряжений на поверхности зубьев, способствующие развитию усталостных трещин и сколов.



Рисунок 7.29 — Вырывы металла на вершинах зубьев — схватывание поверхности при отсутствии разделительной масляной плёнки

4. *Взаимное расположение деталей* оценивают по пятну контакта, характеристики которого обычно приведены в ПТЭ, учебниках и пособиях. Правильное, равномерное по высоте и длине зуба расположение пятна контакта показано на рисунке 7.30. Непараллельное расположение осей зацепления при уменьшенном расстоянии между осями зубчатых колёс происходит из-за износа посадочных мест подшипников валов зубчатых передач и приводит к сокращению пятна контакта до недопустимых размеров (рисунк 7.31). Несоосность валов можно зафиксировать по характеру износа элементов зубчатой муфты (рисунк 7.32).



Рисунок 7.30 — Равномерное расположение пятна контакта по длине и высоте зуба



Рисунок 7.31 — Сокращение пятна контакта из-за непараллельного расположения осей зацепления при уменьшенном расстоянии между осями зубчатых колёс



Рисунок 7.32 — Неравномерный износ зубьев зубчатой муфты при несоосности валов

Отклонения в расположении валов и зубчатых колёс приводит к нарушению равномерности воздействия прилагаемых сил. Она может проявляться в неравномерном распределении сил по длине зуба (рисунк 7.33) и равномерном по окружности зубчатого колеса. Неравномерное распределение сил по окружности

зубчатого колеса возможно из-за его эксцентричного расположения. Отклонения могут быть настолько велики, что приведут к нарушению контакта зубчатого зацепления (рисунок 7.34). Неравномерность распределения сил приводит к образованию локальных сколов зубьев в ограниченном секторе (рисунок 7.21).



Рисунок 7.33 — Неравномерное распределение действующих сил по длине зуба и равномерное распределение по окружности зубчатого колеса



Рисунок 7.34 — Повреждения конического колеса при выходе зубьев из зацепления

5. Накопление усталостных повреждений проявляется в зарождении, развитии и реализации трещин, разрушении зубьев (рисунок 7.35)



Рисунок 7.35 — Локальные разрушения зубьев из-за реализации усталостных трещин

Зубчатое колесо необходимо заменить [5]:

- при изломе зуба, наличии трещин возле основания зуба, пластической деформации материала зуба;
- при осповидном выкрашивании с повреждением рабочей поверхности зубьев более чем на 20% и глубине ямок выкрашивания более 5% толщины зуба;
- при абразивном износе зуба на 10-20% от его толщины;
- при наклёпе, задирах на рабочей поверхности зуба и повреждении более 20% площади рабочей поверхности;
- при наличии цветов побежалости на рабочей поверхности зубьев;
- при размере пятна контакта менее 25-60% по высоте и 30-80% по ширине зуба.

Перечень ссылок

1. Механическое оборудование: техническое обслуживание и ремонт / В.И. Бобровицкий, В.А. Сидоров. — Донецк: Юго-Восток, 2011. — 238 с.
2. Седуш В.Я. Надёжность, ремонт и монтаж металлургических машин: учебник / 3-е изд., перераб. и доп. — К: НМК ВО, 1992. — 150 с.
3. Сидоров В.А. Классификация повреждений подшипников // Металлообработка: оборудования и технологии для профессионалов, 2009. — №3. — С. 86-89.
4. Сидоров В.А. Классификация повреждений подшипников // Металлообработка: оборудования и технологии для профессионалов, 2009. — №4. — С. 62-64.
5. Сидоров В.А. Повреждения зубчатых передач. Классификация // Металлообработка: оборудования и технологии для профессионалов, 2010. — №2. — С. 18-22.

Вопросы для контроля

1. Охарактеризуйте основные виды механического износа.
2. Охарактеризуйте основные виды изломов.
3. При каких условиях подшипник качения подлежит замене?
4. При каких условиях зубчатое колесо подлежит замене?

8. Сборка узлов и механизмов

8.1. Сборка и разборка шпоночных и шлицевых соединений

Шпоночные соединения передают вращающий момент от вала к колесу и служат для закрепления на валах различных деталей машин (зубчатых колёс, муфт, шкивов и т.д.). Образуются посредством шпонки, установленной в сопряжённые пазы вала и колеса. Шпонка имеет вид призмы (передаёт крутящий момент боковыми гранями), клина (передаёт момент за счёт сил трения по верхним и нижним граням) или сегмента, реже — других форм. Шпоночные соединения просты, надёжны, удобны в сборке и разборке, дешёвы. Недостатки: ослабляют сечение валов и ступиц колёс, концентрируют напряжения в углах пазов, нарушают центрирование и балансировку колеса на валу. [1]

Перед сборкой призматического шпоночного соединения детали очищают и проверяют посадочные размеры, наличие на сопрягаемых поверхностях забоин, заусенцев и других дефектов. Посадку шпонки в паз вала проводят лёгкими ударами молотка из мягкого металла, под прессом или с помощью струбцин. Перекос шпонки и врезание в тело паза не допускаются. Отсутствие бокового зазора между шпонкой и пазом проверяют щупом, затем насаживают охватывающую деталь (колесо, шкив) и проверяют наличие радиального зазора (таблица 8.1). Направляющие призматические шпонки устанавливаются с дополнительным креплением в пазу винтами, в пазу перемещаемых деталей делают более свободную посадку.

Таблица 8.1 — Значения радиального зазора для призматических шпонок

Диаметр вала, мм	Радиальный зазор, мм
менее 90	0,3
90-170	0,4
свыше 170	0,5

Призматические шпонки подлежат замене при:

- смятии боковых граней;
- ослаблении посадки;
- смятии шпоночной канавки.

Для разборки в средней части шпонки выполняют резьбовое отверстие и ввёртывают в него винт. Главное условие процесса разборки шпоночного соединения — сохранение чистоты и точности посадочных мест. При небольшой выработке стенки канавки необходимо выровнять стенки шпоночной канавки до получения правильной формы и изготовить новую шпонку с увеличенным сечением. Расширение шпоночной канавки допускается на величину, не превышающую 15% от первоначального размера. Засверливание шпоночных канавок должно производиться фрезой.

При сборке *клиновых шпоночных соединений* необходимо контролировать плотное прилегание шпонки ко дну паза и втулки, зазоры по боковым стенкам. Верхняя грань клиновых шпонок должна быть выполнена с уклоном по длине 1:100. Во избежание перекоса уклоны на рабочей поверхности шпонки и в пазе втулки должны совпадать. Точность посадки шпонки проверяется щупом с обеих сторон втулки (таблица 8.2). При сборке пазы вала или поверхности шпонки припиливают или пришабривают для исключения перекоса или смещения. В собранном соединении головка клиновой шпонки не должна доходить до торца ступицы на величину, равную высоте шпонки. Во избежание выпадения клиновых и тангенциальных (состоящих из двух клиньев) шпонок при их ослаблении у головок устанавливают упоры на винтах.

Таблица 8.2 — Значения бокового зазора для клиновых шпонок

Размеры шпонок, мм		Боковой зазор, мм
ширина	высота	
12-18	5-11	0,35
20-28	8-16	0,40
32-50	11-28	0,50
60-100	32-50	0,60

Шпонки размером сечения более 28×16 мм необходимо проверять на краску по посадочным местам до получения более пяти отпечатков на квадратный сантиметр поверхности. Перед установкой шпонки необходимо зачистить и смазать маслом

шпонку и шпоночную канавку. Не допускается во всех видах шпоночных соединений устанавливать подкладки для достижения плотной посадки.

Сегментные шпоночные соединения в меньшей степени подвержены перекоосу и не требуют ручной пригонки, так как шпоночный паз получают фрезой, соответствующей размеру шпонки. Тем не менее, паз под сегментную шпонку более глубокий, что ослабляет сечение вала.

Шлицевые соединения образуются выступами на валу, входящими в сопряжённые пазы ступицы колеса. По внешнему виду и по динамическим условиям работы шлицы можно считать многошпоночными соединениями. Точные соединения центруют по наружному или внутреннему диаметру, а соединения, передающие большой крутящий момент, — по боковым поверхностям.

В сравнении со шпонками шлицы:

- имеют большую несущую способность;
- передают больший крутящий момент;
- лучше центрируют колесо на валу;
- усиливают сечение вала за счёт большего момента инерции ребристого сечения по сравнению с круглым;
- требуют специального оборудования для изготовления отверстий.

Основными критериями работоспособности шлицевых соединений являются:

- сопротивление боковых поверхностей смятию;
- сопротивление износу при фреттинг-коррозии (малые взаимные вибрационные перемещения).

Подвижные шлицевые соединения имеют обычно посадку с зазором и собираются от руки, перед сборкой детали смазываются. Жёсткие шлицевые соединения могут иметь переходную посадку или посадку с натягом и собираются путём нагрева до температуры 80-120 °С и прессования охватывающей детали. Жёсткие шлицевые соединения после сборки проверяют на биения, а подвижные — на равномерность проворачивания относительно неподвижного вала в четырёх диаметральных сечениях. При сборке ответственных шлицевых соединений прилегание сопрягаемых поверхностей проверяют на краску.

8.2. Сборка и разборка резьбовых соединений

Перед сборкой выполняют расконсервацию крепёжных деталей, снимая защитную смазку растворителем, выполняют очистку резьбы. Проверяют состояние резьбы, снимают заусенцы, повреждённые места зачищают, смазывают резьбу и проверяют свинчиваемость соединения. При наличии вмятин, забоин, выкрашивании, срыве более двух ниток резьбы, изгибе стержней или заметном износе — крепёжные детали бракуют.

При сборке резьбовых соединений:

- проверяют стык соединяемых деталей на прилегание стыкуемых поверхностей;
- при необходимости пригоняют стыкуемые поверхности;

- совмещают оси отверстий под крепёжные детали;
- в отверстия вставляют болты или ввёртывают шпильки;
- надевают шайбы и подкладочные стопорные элементы;
- наворачивают гайки и предварительно их навинчивают;
- замеряют зазор по опорным поверхностям гаек (прилегание опорных поверхностей должно быть не менее 75% по всей длине);
- окончательно затягивают гайки;
- контролируют правильность взаимной ориентации соединяемых деталей и плотность стыка в соответствии с рабочими чертежами.

Технология сборки резьбовых соединений *с приложением крутящего момента к гайке* осуществляется с помощью гаечных ключей, ключей предельного момента, динамометрических ключей, ключей мультипликаторов, гидравлических, пневматических, электрических гайковёртов, что приводит к возникновению в стержне болта касательных напряжений.

Технология сборки резьбовых соединений *с предварительным нагревом болтов* (до 100 °С) исключает возникновение касательных напряжений (при этом следует учитывать потери тепла при сборке, что может не позволить обеспечить создание в болтах заданных сил предварительной затяжки).

Технология сборки резьбовых соединений *с приложением к болтам осевых сил* исключает возникновение в стержнях касательных напряжений, а использование гидравлического инструмента позволяет обеспечить контроль усилия затяжки при помощи манометра на маслостанции.

Группы болтов (шпилек) затягивают с одинаковым усилием. Для неотчетственных (конструктивных) болтов и шпилек затяжку производят в 2 обхода, а для ответственных (расчётных) — не менее чем в 3 обхода (0,5; 0,7; 1,0 усилия затяжки). Резьбовые соединения с предварительным растяжением собирают в 2 обхода.

На предварительном этапе с помощью ключей, гайковёртов и специальных накидных головок проводят навинчивание гаек до упора. На завершающем этапе с помощью ключей-мультипликаторов, гайковёртов, гидравлических ключей, специальных домкратов или других устройств окончательно затягивают гайки.

Затяжку следует проводить в шахматном порядке симметрично относительно продольной оси стыка от центра к периферии. Сборку резьбовых соединений фланцевых стыков проводят путём одновременной затяжки симметрично расположенных пар гаек (попарная сборка) либо диаметрально расположенных гаек.

8.3. Сборка и разборка узлов подшипников качения

8.3.1. Подготовительные операции

Проверка качества посадочных мест на валу и в корпусе, проверка исправности и комплектности соединительных и уплотнительных деталей. Посадочные места не должны иметь забоин, риск, пятен коррозии, трещин, заусенцев. Не допускается

кернение посадочных мест, опиловка шеек и установка прокладок. Сопрягаемые с подшипниками поверхности валов и корпусов должны быть тщательно промыты, протёрты, просушены и смазаны тонким слоем смазочного материала. Каналы для подвода смазки должны быть продуты и очищены от стружки и других частиц.

Рабочий инструмент должен быть чистым, без заусенцев. Во избежание повреждений рабочих поверхностей запрещается вращать подшипники непромытыми. Не разрешается вращать сухие подшипники, не имеющие на рабочих поверхностях масла.

Необходимо проверить отклонение соосности всех посадочных поверхностей, расположенных на одной оси. Если подшипники, служащие опорой одного вала, устанавливаются в отдельные корпуса, соосность корпусов обеспечивается с помощью прокладок или других средств в соответствии с требованиями технической документации.

Для подготовки подшипников к монтажу проверяют надписи на упаковке и подшипниках. Распаковывают подшипники непосредственно перед началом работ. Расконсервацию подшипников проводят в минеральном масле при температуре 80-90 °С. Хранить расконсервированные подшипники более двух часов без защиты от коррозии не рекомендуется.

Перед монтажом подшипник следует проверить на лёгкость вращения, соответствие внешнего вида, зазоров требованиям нормативно-технической документации. Визуально у подшипников открытого типа проверяют наличие забоин, следов загрязнений, коррозии, полного комплекта заклёпок, плотности их установки, полного комплекта тел качения, наличие повреждений сепаратора. У подшипников закрытого типа следует проверить не повреждены ли уплотнения и защитные шайбы.

Лёгкость вращения предварительно смазанного подшипника проверяют проворачиванием от руки наружного кольца. Проверку ведут, удерживая подшипник за внутреннее кольцо в горизонтальном положении. Кольца должны вращаться плавно, без резкого торможения.

8.3.2. Сборочные операции

Состоят в совмещении внутреннего кольца с валом и наружного с корпусом. Для совмещения внутреннего кольца с валом используют:

1. *Механическое сопряжение* при сборке подшипников с внутренним диаметром до 60 мм. При монтаже подшипника усилие напрессовки должно передаваться только через напрессовываемое кольцо (через внутреннее при монтаже на вал, через наружное — в корпус). Запрещается проводить монтаж так, чтобы усилие передавалось с одного кольца на другое через тела качения. Если подшипник одновременно монтируется на вал и в корпус, то усилия передаются на торцы обоих колец. Не допускается приложение монтажных усилий к сепаратору. Нельзя наносить удары непосредственно по кольцу — следует использовать, например, втулку из мягкого металла.

2. *Тепловые посадки* применяются для качественного монтажа. Нагрев проводят в масляных ваннах или с помощью электроиндукционных установок. При монтаже подшипников открытого типа с цилиндрическим отверстием на вал с натягом, подшипник погружают в ванну с чистым минеральным маслом, обладающим высокой температурой вспышки, нагретым до 80-90 °С, и выдерживают в течение 15-20 минут. При монтаже подшипников с защитными шайбами и постоянно заложённой смазкой, их нагрев до той же температуры проводят в термостате. Нагрев открытым пламенем запрещается, поскольку может сопровождаться местными деформациями, приводящими к температурным напряжениям, микротрещинам, изменению исходной структуры и физико-механических свойств материалов сопрягаемых поверхностей. Нагретый подшипник устанавливают на вал и доводят до места небольшим усилием. При этом сторона подшипника, на которой нанесено заводское клеймо, должна быть снаружи. Для монтажа крупногабаритных подшипников целесообразным является применение гидравлического распора, обеспечивающего качественную установку подшипника, отсутствие каких-либо повреждений монтажных поверхностей и высокую производительность.
3. *Охлаждение вала* повышает предел прочности и твёрдость большинства сталей, не меняя их пластических свойств. При посадке подшипника в корпус с натягом, рекомендуется перед монтажом предварительно охладить подшипник жидким азотом (-160 °С) или сухим льдом либо нагреть корпус.

Наиболее целесообразными являются способы монтажа, при которых во избежание перекоса осуществляется одновременное и равномерное давление по всей окружности монтируемого кольца. Для осуществления применяются трубы из мягкого металла, внутренний диаметр которых несколько больше диаметра отверстия кольца, а наружный – немного меньше наружного диаметра кольца. На свободном конце трубы устанавливают заглушку со сферической наружной поверхностью, к которой прилагают усилие при монтаже. Усилие при монтаже следует создавать с помощью механических либо гидравлических прессов и приспособлений, а при их отсутствии — нанесением несильных ударов молотком через монтажную трубу с заглушкой (при монтаже подшипников малых размеров с небольшими натягами). При любых способах монтажа необходимо тщательно следить за обеспечением равномерного, без перекоса, осевого перемещения кольца.

8.3.3. Регулировочные операции

Двухрядные сферические шариковые и роликовые подшипники с коническим отверстием устанавливают на цилиндрическом валу с помощью закрепительных и стяжных втулок, а на валах с конической шейкой — непосредственно на шейку вала. Монтаж подшипников с диаметром отверстия до 70 мм и нормальными натягами целесообразно осуществлять с помощью монтажной втулки, навёртываемой на резьбовой конец вала. Нажимная часть воздействует на торец закрепительной втулки

или непосредственно на торец внутреннего кольца (при монтаже без закрепительных и стяжных втулок). Подшипники с диаметром отверстия свыше 100 мм следует монтировать гидравлическими методами. По мере осевого продвижения закрепительной втулки внутреннее кольцо подшипника деформируется (расширяется), радиальный зазор уменьшается. Радиальный зазор необходимо контролировать с помощью щупа (ориентировочно — диаметр отверстия, делённый на 3000).

В процессе установки подшипников с помощью щупа толщиной от 0,03 мм или по световой щели следует убедиться в плотном и правильном прилегании торцов колец подшипника к торцам заплочиков. Аналогичной проверке должны быть подвергнуты противоположные торцы подшипников и торцы прижимающих их в осевом направлении деталей.

Необходимо проверить правильность взаимного расположения подшипников в опорах вала. Вал после монтажа должен вращаться от руки легко, свободно и равномерно.

Осевой зазор радиально-упорных и упорных подшипников устанавливают осевым смещением наружного и внутреннего колец с помощью прокладок, гаек, распорных втулок. Вал смещают в осевом направлении до полного контакта тел качения с поверхностью качения соответствующего наружного кольца.

Для предотвращения закусывания крупных подшипников при монтаже или в процессе эксплуатации допускается проводить пришабривание поверхностей полуотверстий в местах разъёма корпусов. Полноту прилегания крупных подшипников к посадочным местам в разъёмных корпусах проверяют с помощью калибра и краски (отпечатки краски должны составлять не менее 75% посадочной площади). В разъёмных корпусах с помощью щупа толщиной не более 0,05 мм проверяют плотность и равномерность прилегания основания крышки.

В собранном узле необходимо проверить наличие зазоров между вращающимися и неподвижными деталями (в особенности — сепараторов, которые иногда выступают за плоскость торцов колец). Проверяют совпадение проточек для подачи смазки в корпусах со смазочными отверстиями в наружных кольцах подшипников.

Для подшипников с цилиндрическими роликами и без бортов после монтажа проверяют относительное смещение наружного и внутреннего колец в осевом направлении (не более 0,5-1,5 мм для подшипников с короткими роликами, не более 1,0-2,0 мм для подшипников с длинными роликами, большие значения — для подшипников больших размеров).

8.3.4. Пробный запуск

После завершения сборочных операций и введения в подшипниковые узлы смазочного материала проверяют качество монтажа подшипников пробным пуском сборочной единицы на низких оборотах без нагрузки, прослушивая шум вращения.

Осуществляется контроль температуры подшипниковых узлов, которая не должна превышать температуру окружающей среды более чем на 40 °С. Причиной повышенной температуры может быть малый зазор в подшипнике, чрезмерно большой натяг, недостаток смазки, износ рабочих поверхностей, взаимный перекос колец. В течение 1-2 дней после смазывания (в том числе повторного) имеет место некоторое повышение температуры подшипника.

8.3.5. Разборка

Во всех случаях разборки подшипников запрещается наносить удары молотком по кольцам, телам качения и сепаратору.

Для разборки подшипниковых узлов рекомендуется использование специальных устройств и приспособлений (съёмников) различных конструкций, обеспечивающих качественное и безопасное выполнение операции.

Как исключение, при отсутствии возможности использования захватов за внутреннее кольцо, допускается захват подшипника за наружное кольцо. Во избежание повреждений разборку при этом необходимо проводить вращением захватов при фиксированном положении винта съёмника.

Наличие на валах отверстий и канавок для подвода масла значительно облегчает проведение разборки. Масло под давлением подаётся и равномерно распределяется по сопряжённым поверхностям подшипника и вала, снижая до минимума трение между ними.

Разборка посредством индукционного нагрева наиболее удобна для внутренних колец роликовых цилиндрических подшипников. Размеры нагревателя и форма его конструкции зависят от габаритных размеров и конструкции подшипникового узла.

8.4. Сборка валов и зубчатых колёс

При сборке валов и зубчатых колёс предъявляются нормы по:

- *кинематической точности*, определяемой погрешностью угла поворота зубчатых колёс за оборот;
- *плавности работы*, определяемой проворачиванием собранной передачи динамометрическим ключом;
- *контакту зубьев*, определяемому размерами пятна контакта сопряжённых зубьев.

Боковой зазор в крупных зубчатых передачах большого модуля проверяют путём прокатывания между зубьями свинцовых проволочек или пластин, устанавливаемых по длине зуба. При проверке норм контакта зубьев, зубья меньшего колеса покрывают тонким слоем краски и поворачивают зубчатую пару, после чего осматривают следы прилегания на зубьях большого колеса. Основная причина неправильного прилегания — непараллельность или перекос осей отверстий в корпусе, а также погрешности в самом узле.

При монтаже и сборке зацеплений зубчатых передач предъявляются следующие требования по проверке выполнения работ:

- проверка заданного межцентрового расстояния, параллельности осей валов и отсутствие перекосов;
- проверка делительной окружности;
- проверка радиального и торцевого биения зубчатого колеса;
- измерение бокового зазора;
- проверка толщины зуба;
- проверка установки колес;
- окончательная проверка зацепления на краску (рисунок 8.1, рисунок 8.2).

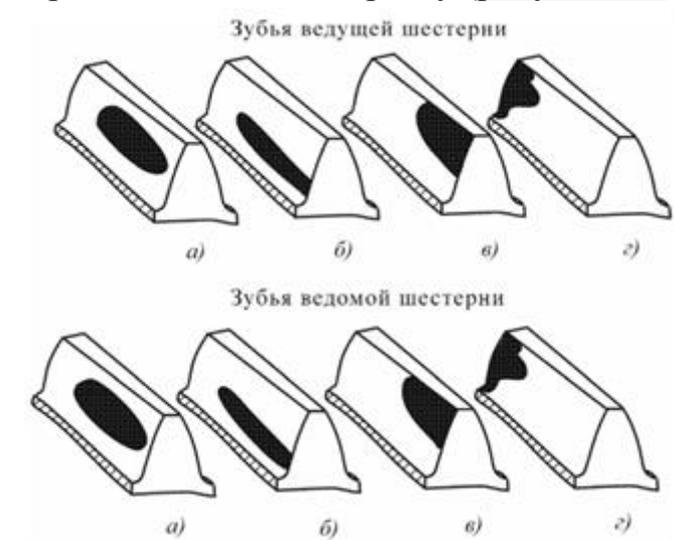


Рисунок 8.1 — Проверка зацепления конической передачи с помощью краски: а) правильно отрегулированное зацепление; б) уменьшенный радиальный зазор; в) увеличенный радиальный зазор; г) осевое смещение колёс

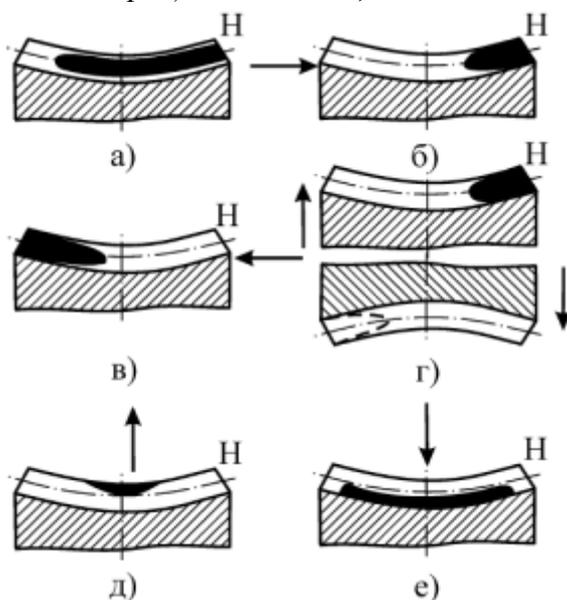


Рисунок 8.2 — Проверка правильности установки червячного колеса относительно червяка с помощью отпечатка краски на зубьях (Н — место входа витка червяка в зубья червячного колеса): а) правильное зацепление (пятно касания располагается симметрично и занимает 70...75 % поверхности зуба); б), в) червячное колесо смещено в сторону от оси (стрелкой показано направление сдвига для устранения дефекта); г) червячное колесо перекошено; д) увеличенное межцентровое расстояние; е) уменьшенное межцентровое расстояние

В цилиндрических зубчатых передачах непараллельность и перекос валов не должны превышать (на каждые 1000 мм длины) соответственно 0,3 мм и 0,25 мм. Непараллельность валов может быть установлена штангенциркулем, при помощи натянутой струны и рейсмуса, штихмассом, а перекос валов — уровнем.

8.5. Центрирование валов

Соединяемые между собой механизмы работают правильно в том случае, если их валы установлены так, чтобы их упругие линии являлись продолжением одна другой без смещения и излома в плоскости сопряжения, что получило название *центровка*.

Оси вращения двух валов имеют параллельное смещение и угловой излом. В процессе работы, даже при использовании упругих муфт, перекосы приводят к увеличению нагрузки на опорные части машины, повышению вибрации и другим отрицательным эффектам.

Для центрирования валов используют метод грубой выверки при помощи линеек, щупов, клиновых щупов и методы точной выверки при помощи индикаторов часового типа или лазерного центровщика.

Перед центровкой полумуфты валов должны быть разъединены во избежание касаний. Затем проверяют свободное проворачивание каждого из валов и убеждаются в отсутствии задеваний.

Обычно в качестве «неподвижной» выбирается часть механизма, положение которой в процессе выверки не меняется (насос, вентилятор), «подвижная» часть (двигатель) перемещается для устранения несоосности.

Радиальные (R , по окружности) и осевые (A , по торцу) зазоры при центровке измеряют при исходном положении 0° и после поворота валов на 90° , 180° и 270° в направлении рабочего вращения. Для контроля правильности измерений, после четырех замеров необходимо установить полумуфты в первоначальное положение. Результаты повторных измерений в этом положении должны совпадать с первоначальными, в противном случае следует найти причину отклонения и устранить. Результаты измерений заносят в круговую диаграмму (рисунок 8.3). Правильность измерения проверяют, сопоставив суммы результатов, полученных при измерении на противоположных сторонах полумуфт. Эти суммы должны быть равны между собой:

$$R_1 + R_3 = R_2 + R_4;$$

$$A_1 + A_3 = A_2 + A_4.$$

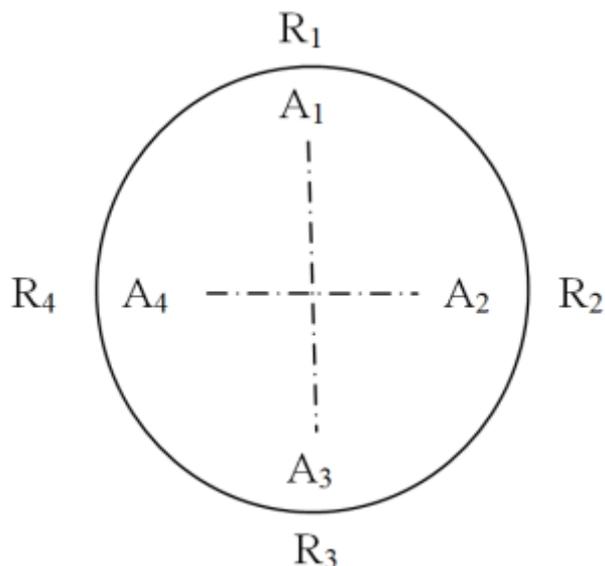


Рисунок 8.3 — Круговая диаграмма для центровки

Полученные замеры по торцу и окружности можно привести к нулю путём вычитания из полученных результатов наименьшего зазора. В случае неудовлетворительных результатов центровки и необходимости перемещения валов в горизонтальной (x) и вертикальной (y) плоскостях, определяют величины перемещения (рисунок 8.4) опор №1 и №2:

$$x_1 = (A_2 - A_4) \times (L + l) / d_m + (R_2 - R_4) / 2;$$

$$y_1 = (A_1 - A_3) \times (L + l) / d_m + (R_1 - R_3) / 2;$$

$$x_2 = (A_2 - A_4) \times l / d_m + (R_2 - R_4) / 2;$$

$$y_2 = (A_1 - A_3) \times l / d_m + (R_1 - R_3) / 2.$$

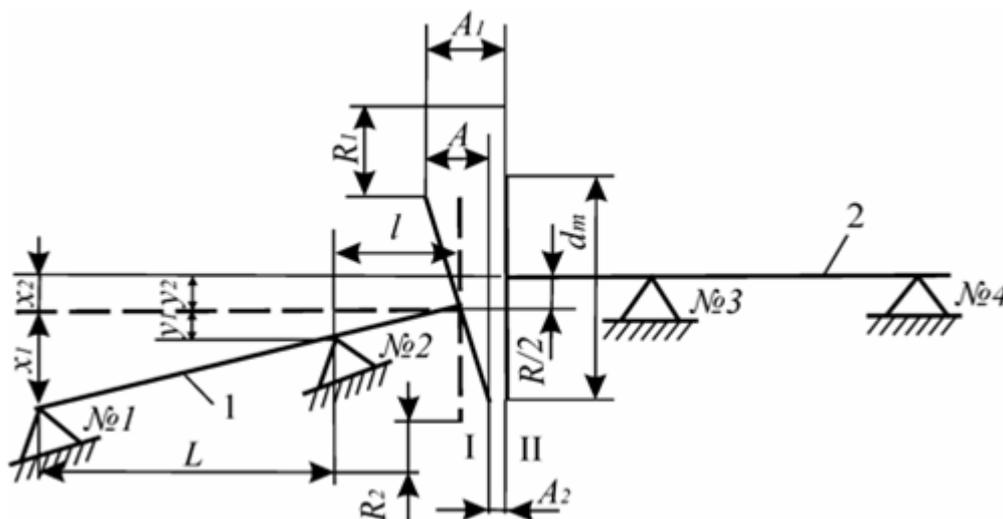


Рисунок 8.4 — Схема центровки валов: I, II — плоскости замеров; 1 — центрируемый вал; 2 — базовый вал; №1...№4 — опоры

Вначале проводят совмещение осей в вертикальном направлении, а затем в горизонтальном.

Перечень ссылок

1. Механическое оборудование: техническое обслуживание и ремонт / В.И. Бобровицкий, В.А. Сидоров. — Донецк: Юго-Восток, 2011. — 238 с.

Вопросы для контроля

1. Назовите основные требования при сборке и разборке шпоночных и шлицевых соединений.
2. В каком порядке осуществляется затяжка резьбовых соединений?
3. Назовите основные требования при сборке и разборке подшипниковых узлов.
4. Какие параметры контролируются при сборке валов и зубчатых колёс?
5. Опишите порядок выполнения центровки валов.

9. Смазка металлургических машин

9.1. Виды смазывания

Для уменьшения потерь мощности на трение и снижения интенсивности изнашивания трущихся поверхностей, а также для предохранения их от заедания, задиров, коррозии и для лучшего отвода тепла, трущиеся поверхности деталей должны иметь надёжное смазывание. [1]

Изнашивание — процесс разрушения и отделения материала с поверхности твёрдого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела (детали).

Смазка — действие смазочного материала, в результате которого между двумя поверхностями уменьшается сила трения и (или) интенсивность изнашивания.

Основное назначение смазки состоит в образовании слоя из смазочного материала, разделяющего поверхности трения, и, благодаря этому, уменьшающие силы трения и износа.

Различают три *режима смазывания*:

1. *Граничное смазывание* имеет место при недостаточной толщине смазочного слоя для разделения трущихся поверхностей, возникает при:

- недостатке смазочного материала;
- недостаточной скорости перемещения сопряженных поверхностей;
- низкой вязкости масла.

Следствием является:

- металлический контакт сопряженных поверхностей
- схватывание выступающих пиков шероховатости, в результате чего имеет место:
 - значительное трение;
 - большой износ;
 - разрушение сопряженных поверхностей.

2. *Гидродинамическое смазывание* возникает при полном разделении сопряжённых поверхностей смазочным слоем. Трение в этом случае значительно ниже, отсутствует металлический контакт поверхностей трения.

3. *Контактно-гидродинамический режим* возникает при упругом деформировании поверхностей в местах контакта, однако масло из зоны контакта не выдавливается. В зоне контакта вязкость масла резко возрастает, а после снятия нагрузки — снова снижается до исходного значения.

9.2. Классификация смазочных материалов

Наиболее широко в технике используются жидкие и пластичные смазочные материалы. Менее распространены твёрдые и газообразные смазочные материалы.

Пластичные смазочные материалы применяют для смазывания подшипников качения при частоте вращения до 3000 об/мин. и температуре до 100 °С. Большая часть подшипников качения (до 90%) смазывается этими материалами.

Преимущества пластичных смазок:

- простая и дешёвая конструкция подшипниковых узлов;
- лучшее уплотнение против проникновения влаги и загрязнения из внешней среды.

Жидкие масла применяются при высоких частотах вращения, превышающих допустимые для смазывания пластичной смазкой, а также при необходимости отвода тепла от узлов механизма. Используются также при необходимости смазывания ряда узлов: подшипников, уплотнений, зубчатых колёс.

Твёрдые смазочные материалы применяют в виде порошков или покрытий. Это графит, дисульфид молибдена, имеющие чешуйчатое строение и малые усилия при смещении слоев относительно друг друга. Применяются при отрицательных температурах и при температурах более 100 °С.

9.3. Характеристики, особенности, способы подачи и контроля пластичных смазочных материалов

Пластические смазки состоят из двух компонентов: жидкой основы (минеральные, растительные, синтетические и другие масла) и загустителя (твёрдые углеводороды, различные соли высокомолекулярных жирных кислот, высокодисперсные силикагели и бентониты, другие продукты органического и неорганического происхождения). В своём составе содержат присадки, улучшающие эксплуатационные характеристики, а также наполнители (графит, дисульфид молибдена, порошкообразные металлы или их окислы, слюду и другие).

Преимущества пластичных смазок:

- способность удерживаться в негерметичных узлах трения;
- работоспособность в широком температурном и скоростном диапазонах;
- лучшая смазывающая способность;
- высокие защитные свойства от коррозии;
- работоспособность в контакте с водой и агрессивными средами;
- экономичность.

Недостатки пластичных смазок:

- плохая охлаждающая способность;

- высокая склонность к окислению;
- сложность подачи к узлу трения.

В зависимости от *загустителя* различают:

1. *Кальциевые* (солидолы) смазки – влагостойкие (могут содержать до 4% влаги). Имеют хорошую механическую стабильность и низкий коэффициент внутреннего трения. Смешиваясь с водой, не образуют эмульсии. Используются в условиях высокой влажности при температуре $-30...+55$ °С. Расплавляясь, теряют содержащуюся в них воду, после охлаждения не восстанавливают свои физико-химические свойства.
2. *Натриевые* смазки — чувствительны к влаге (соединяясь с водой, образуют эмульсию и выделяют коррозирующие щелочи и кислоты). Применяются при отсутствии контакта с водой при температуре $-30...+150$ °С. Обладают хорошими маслянистостью и уплотняющими свойствами, восстанавливают свои характеристики после расплавления.
3. *Кальциево-натриевые* смазки — по влагостойкости и температурному диапазону занимают промежуточное место, эффективны для применения в условиях небольшой влажности при температуре $0...+110$ °С.
4. *Литиевые* смазки — имеют положительные свойства кальциевых и натриевых смазок, но без их недостатков: хорошую маслянистость, отличную температурную устойчивость. Применяются при температуре $-50...+150$ °С при возможности проникновения воды.
5. Смазки с *синтетическими* маслами — отличаются большой устойчивостью против старения, имеют малые потери на трение, работают при температуре $-70...+150$ °С.

В зависимости от *температуры каплепадения* различают пластичные смазки:

- низкотемпературные;
- среднетемпературные;
- высокотемпературные.

По *назначению* пластичные смазки бывают:

- антифрикционные;
- защитные;
- уплотнительные.

Маркировка пластичных смазок:

- область применения (У — универсальная; И — индустриальная; П — прокатная; А — автотракторная; Ж — железнодорожная);
- наименование группы (Н — низкотемпературная, С — среднеплавкая; Т — тугоплавкая);
- марка и специфические свойства (М — морозостойкая; В — влагостойкая; З — защитная; К — канатная).

Системы смазывания:

- закладная смазка в корпус подшипника;

- периодическое смазывание при помощи шприца;
- смазывание при помощи ручных станций;
- централизованные системы смазывания.

Условия заполнения подшипника пластичной смазкой:

- правильное количество смазки;
- правильный способ закладки;
- правильный сорт и качество смазки;
- правильные интервалы повторного смазывания.

При нормальных условиях эксплуатации полную замену смазки подшипников осуществляют через 4-6 месяцев работы, при тяжёлых условиях эксплуатации — через 2-3 месяца. Повышение температуры на 15 °С требует подачи смазки вдвое чаще.

Требования по эксплуатации централизованных систем:

- исключить возможность попадания в систему грязи, песка, воды, воздуха;
- используемая смазка должна быть однотипной, однородной — без комков и посторонних включений;
- запрещается заполнять резервуар ручной станции через верх со снятой крышкой;
- исключить утечки смазки через питатели и трубопроводы;
- при замене труб новая труба должна быть протравлена или обработана пескоструйной машиной, промыта и наполнена смазкой;
- запорные приспособления, установленные на маслопроводе возле станций, должны быть открыты при работе;
- соблюдать сроки заполнения резервуара смазкой, не допускать их опорожнения;
- соблюдать периодичность замены диаграммы на самопишущем манометре;
- результаты предыдущих суток анализировать;
- не допускать попадание смазки в механизм самопишущего манометра;
- регулярно проверять показания манометров на контрольных точках;
- один раз в смену проверять работу питателя.

Требования по эксплуатации ручных станций:

- при нагнетании не доводить рукоятку до крайнего положения;
- обеспечить постоянный контроль давления;
- не оставлять систему под давлением (рукоятка станции должна быть в вертикальном положении);
- предохранять станцию от загрязнения и от воздействия влаги;
- все питатели, смазываемые точки и отводы пронумеровать однотипно.

Типичные случаи неполадок питателей:

- повреждён корпус ограничителя — заменить, по возможности, восстановить;
- погнут шток линейного питателя — заменить шток либо ограничитель;
- питатель срабатывает только вверх — у золотника очень длинный нижний хвостовик;

- при нормальном давлении питатель пропускает смазку свыше положенной нормы — износ либо отсутствие золотника.

9.4. Характеристики, особенности, способы подачи и контроля жидких смазочных материалов

Типы жидких масел:

- минеральные, получаемые как продукт перегонки нефти;
- синтетические;
- растительные — работают при низких и высоких температурах;
- животные — добавляют в минеральные при особых условиях трения.

В результате действия кислорода воздуха минеральные масла окисляются с образованием кислот, смол, карбонидов. При этом изменяются физико-механические свойства масел: вязкость, повышается кислотное число. Чем выше рабочая температура масла и чем больше длительность пребывания постоянного объёма в механизме (маслобаке), тем интенсивнее протекает окисление и тем больше продуктов окисления скапливается в масле. Это приводит к загрязнению, коррозии, что вызывает через определённое время необходимость замены отработанного масла свежим.

Маркировка жидких масел:

- цифра показывает среднюю кинематическую вязкость в сантистоксах;
- буквы обозначают тип масла: Л — лёгкое; С — среднее; Т — тяжёлое (высоковязкое); В — выщелоченное; А — автотракторное; К — кислотной очистки; С — селективной очистки; З — загущенное.

Чаще всего в подшипниках качения используют минеральные масла прямой перегонки без присадок. Масла, содержащие присадки, которые улучшают определённые свойства смазочного материала, используют в особых случаях. Синтетические масла применяются в подшипниках в крайних случаях, например, при очень низких или очень высоких температурах.

Выбор масла основан на величине вязкости, необходимой для эффективного смазывания подшипника при рабочей температуре. Вязкость масла зависит уменьшается с ростом температуры. В подшипниках качения рекомендуется применять масла с высоким индексом вязкости (малые изменения при росте температуры) — не менее 85 единиц.

Масло меняется 1 раз в год, если рабочая температура не превышает 50 °С. Если температура свыше 100 °С замена масла должна проводиться каждые три месяца.

Способы подачи жидкостной смазки к поверхности трения:

- индивидуальная (капельная, фитильная);
- погружением (разбрызгиванием, при скорости вращения колёс до 10 м/с).

При погружении зубчатых колёс в масляную ванну жидкий смазочный материал попадает в узлы трения частично, большая часть масла не используется.

При циркуляционной системе смазки, масло можно очищать, регулировать и контролировать его качество и замену.

Требования по эксплуатации *систем жидкой смазки*:

1. Запуск системы смазки разрешается при исправном состоянии всех систем контроля.
2. За 15-20 минут до пуска агрегата масло подогревают до 60...70 °С.
3. Механизмы разрешается запускать только после того, как давление в магистрали достигнет как минимум 0,15 МПа.
4. При остановке оператор должен лично убедиться, что все механизмы остановлены.
5. Следить за показаниями приборов, состоянием масла в отстойнике.
6. Не реже одного раза в год промывать резервуары горячей водой и убирать грязь в корпусах фильтров.
7. Периодически чередовать рабочие и резервные насосы.
8. Давление масла на входе в теплообменник должно быть выше, чем давление охлаждающей воды.
9. Необходимо следить за чистотой внутренней поверхности систем смазки.
10. Аварийный сигнал должен быть одновременно световым и звуковым.
11. Необходимо наблюдать за работой указателей течения и подачи масла. Следить за состоянием сопел, брызгал в редукторах, фланцевых и резьбовых соединений.
12. Не реже одного раза в день спускать воду из водоотделителя.

Возможные *неисправности в работе шестеренных насосов*:

1. Насос не засасывает масло:
 - насос не залит маслом;
 - подсос воздуха на линии всасывания;
 - велика высота всасывания.
2. Насос не нагнетает масло в систему:
 - низкий уровень масла в баке или его отсутствие;
 - неправильное вращение насоса;
 - засорение всасывающего трубопровода или масляного фильтра;
 - срезана шпонка вала или муфта проворачивается по валу;
 - сломан вал;
 - недостаточна скорость вращения;
 - увеличены торцевые зазоры между шестернями и втулками.
3. Увеличенная потребляемая мощность:
 - увеличенное давление нагнетания;
 - насос перекачивает холодное масло;
 - насос перекачивает загрязнённое масло;
 - неравномерная затяжка болтов;
 - деформация рамы или фундамента.
4. Повышенный шум при работе насоса:

- загрязнения трубопровода или фильтра;
 - засорение всасывающих каналов;
 - повышенная скорость вращения;
 - повышенная вязкость масла;
 - отсутствие сообщения пространства над маслом в баке с атмосферой.
5. Наружные утечки по валу насоса или в соединениях крышки с корпусом:
- засорение дренажных отверстий;
 - износ или повреждение уплотнений;
 - повреждение уплотнений в крышках.

9.5. Проверка качества подачи смазочных материалов и продуктов износа в смазке

Операции по контролю поступления смазочного материала определяются способом его подачи к деталям механизма. При этом проверяют:

- количество масла в редукторе (по уровнемеру, масляным щупом);
- работу насоса подачи масла (при принудительной смазке);
- утечки, просачивания пластичного смазочного материала из уплотнительной части (чрезмерное просачивание или сухая уплотнительная часть являются симптомами неисправности);
- давление масла по манометру;
- работу питателей (равномерность работы штоков, их перемещения при переключении системы смазывания);
- подачу масла (по расходомеру, через смотровое стекло на маслопроводе — оптимальная толщина струи масла составляет 2-3 мм);
- состояние обрызгивания маслом зубчатых колёс (достаточность, равномерность).

Включения в масло отражают характер и интенсивность износа элементов механизма, смазываемых маслом, и характеризуются числом, концентрацией частиц и их химическим составом. При нормальном износе обнаруживаются частицы размером до 15 мкм и толщиной до 1 мкм. При трении — это гладкие круглые частицы. Начало интенсивного изнашивания сопровождается увеличением концентрации частиц и их размера до 50 мкм и появлением определенной формы (осколки, пластины неправильной формы, стружка). Дальнейшее развитие неисправности приводит к увеличению размера частиц до 100-300 мкм, а при выходе из строя — более 1000 мкм. Возрастание концентрации элементов износа в масле начинается за 100-150 часов до возможного нарушения работоспособности сопряжения.

9.6. Уплотнение подвижных соединений

Область применения уплотнений — герметизация входных и выходных валов машин. Уплотнения предупреждают утечку масла из корпуса машин и защищают внутренние полости корпуса от внешних воздействий (проникновения пыли, грязи и влаги), герметизируют полости в машинах, содержащих газы и жидкости при

высоких давлениях или под вакуумом. В роторных машинах необходимо уплотнение вращающихся валов и роторов; в поршневых машинах — уплотнение возвратно-поступательно движущихся частей.

Все системы уплотнений делят на:

- *контактные* — уплотнение достигается непосредственным соприкосновением подвижной и неподвижной частей уплотнений; обеспечивают более высокую герметичность соединений; ограниченность допустимых скоростей относительного движения, изнашиваемость и потери уплотнительных свойств с износом;
- *бесконтактные* — уплотнение достигается с помощью центробежных сил, гидродинамических явлений; не имеют пределов по скорости относительного движения; срок службы не ограничен; уплотнительные свойства ниже, чем у контактных уплотнений; полной герметизации можно добиться лишь применением дополнительных устройств.

9.6.1. Контактные уплотнения

Сальник — кольцевая полость вокруг вала, набитая уплотняющим материалом (хлопчатобумажные ткани, шнуры, вываренные в масле, фетр, асбест и подобные материалы с добавлением металлических порошков (свинца, баббита), графита, дисульфида молибдена и других самосмазывающихся веществ).

Недостатки сальника:

- повышенный износ, сопровождающийся потерей уплотнительных свойств;
- непригодность к высоким окружным скоростям.

Надёжность возрастает при подводе смазки (уменьшается коэффициент трения, тепловыделение, повышается герметичность). Для компенсации осуществляют периодическую затяжку набивки. Перетяжка сальника приводит к перегреву и выходу уплотнения из строя.

Манжетные уплотнения — кольцо с воротником, охватывающим вал, выполненное из мягкого упругого материала (поливинилхлорид выдерживает температуру до 80 °С; фторопласт — до 300 °С). Под действием давления в уплотняемой полости воротник манжеты плотно охватывает вал с силой, пропорциональной давлению. Для обеспечения постоянного натяга воротник стягивают на валу кольцевой пружиной. Наружную сторону манжеты плотно крепят к корпусу. Манжета должна быть расположена воротником навстречу уплотняемому давлению (при обратном расположении давление отжимает воротник от вала). При необходимости двустороннего уплотнения устанавливают две манжеты с воротниками, направленными в разные стороны.

Уплотнение разрезными пружинными кольцами надёжно, оно может держать большие перепады давления, долговечно. Изготавливают из закалённой стали, перлитного чугуна, ковanej бронзы и устанавливают в термообработанном стальном корпусе. Под действием перепада давления кольца прижимаются торцами к стенкам

канавок корпуса. Обычно устанавливают два-три кольца; при повышенном перепаде давления число колец доводят до пяти-шести. Со временем на торцевой поверхности колец образуется ступенчатая выработка — результат прижатия кольца к стенке канавки. Для равномерного распределения нагрузки между кольцами и для подвода масла к трущимся поверхностям в кольцах выполняют разгрузочные отверстия.

Уплотнение резиновыми кольцами, вводимыми в канавки вала или промежуточной втулки, имеет ограниченное применение. Кольца выполняют из мягких сортов маслостойкой и термостойкой синтетической резины.

Недостатки уплотнения резиновыми кольцами:

- низкая надёжность работы;
- быстрый износ;
- неопределённость сил прижатия.

Чаще применяют резиновые кольца в установках с возвратно-поступательным движением вала.

9.6.2. Бесконтактные уплотнения

Щелевые уплотнения — наиболее простой вид бесконтактного уплотнения — кольцевая щель между валом и корпусом. Уплотняющая способность кольцевой щели пропорциональна длине и обратно пропорциональна величине зазора. При практически осуществимых длинах щели и величинах зазора уплотнение малоэффективно.

Уплотнения отгонной резьбой применяют для герметизации полостей, содержащих жидкости. На валу и (или) во втулке выполняют многозаходную резьбу. Направление резьбы согласовывается с направлением вращения вала так, чтобы витки отгоняли уплотняемую жидкость в корпус. Уплотнение неререверсивное; при перемене направления вращения витки гонят жидкость из корпуса. Уплотняющая способность отгонной резьбы пропорциональна длине резьбового пояса, скорости вращения вала, вязкости жидкости, обратно пропорциональна высоте резьбы и очень зависит от зазора между гребешками витков и стенками отверстия. Уплотнение работает удовлетворительно, если радиальный зазор не превышает 0,05-0,06 мм. При зазоре свыше 0,1 мм уплотнение бесполезно.

Гребешковые уплотнения — разбивают масляную плёнку, ползущую по валу, и отбрасывают масло действием центробежных сил в кольцевую полость, откуда оно стекает в корпус по дренажным отверстиям. Маслосбрасывающие гребешки выполняют непосредственно на валу или на съёмных деталях. При невысоких частотах вращения гребешков заменяют разрезным пружинным кольцом.

Уплотнение отражательными дисками — устанавливают перед щелевыми уплотнениями с целью преградить доступ масла в щель и отогнать действием центробежной силы частицы масла.

Лабиринтные уплотнения применяют для уплотнения полостей, заполненных газами. Действие их основано на торможении (завихрении) газа в узкой кольцевой

щели с последующим расширением в смежной кольцевой камере большего объёма. Последовательной установкой ряда камер, разделённых узкими щелями, достигают существенного уменьшения перетекания. Лабиринтные уплотнения применяют при высоких окружных скоростях и температурах, когда исключена возможность установки контактных уплотнений. Лабиринтное уплотнение не может полностью исключить истечение, а может только ослабить поток газа через уплотнение.

9.6.3. Комбинированные уплотнения

Для повышения надёжности устанавливают последовательно два и более уплотнения разного вида.

9.6.4. Уплотнение неподвижных соединений

Плоские стыки уплотняют листовыми прокладками из упругого материала. Наилучшими свойствами обладают прокладки из синтетических материалов. Для соединений, работающих при высоких температурах, применяют прокладочные материалы с асбестом. Паропроводы уплотняют паронитом (композиция асбеста с натуральной или синтетической резиной выдерживает до 450 °С). При более высоких температурах применяют прокладки из листового свинца, алюминиевой или медной фольги (требуют повышенного усилия затяжки).

Широко применяют герметики (уплотняющие мази на основе натуральной или синтетической резины, с соответствующими растворителями), выпускаемые в виде паст и лаков. Для уплотнений, работающих при высоких температурах, применяют термостойкие мази.

Прокладки из мягких материалов после однократного использования подлежат замене.

Применяют армированные прокладки, состоящие из упругого материала (резины, пластика, асбеста и т.д.), заключённого в оболочку из мягкого металла (меди, латуни).

Круглые фланцы уплотняют упругими металлическими (гофрированными) кольцами, часто Z-образного сечения. Круглые фланцы с центрирующими буртиками уплотняют шнурами из упругих материалов (резины, синтетики), которые закладывают в канавки, проделанные в буртике.

9.7. Нарушение смазывания как причина отказов оборудования

Основные причины повреждений при нарушении смазывания [2, 3]:

- **накопление продуктов износа в смазочном материале (рисунком 9.1);**



Рисунок 9.1 — Накопление продуктов износа в смазочном материале:

а) продукты окисления и износа в смазочном материале;

б) продукты коксования на поверхности роликов

- **неравномерное смазывание беговых дорожек двухрядных подшипников (рисунок 9.2);**



Рисунок 9.2 — Неравномерное смазывание беговых дорожек двухрядных подшипников:

а) следы коксования смазочного материала на деталях подшипника;

б) усталостное выкрашивание на беговых дорожках подшипника

- **ошибки в конструкции систем смазки (рисунок 9.3);**



Рисунок 9.3 — Ошибки в конструкции систем смазки:

а) двигателя;

б) бустерного насоса

- **накопление продуктов окисления смазочного материала в окнах сепараторов (рисунок 9.4);**



Рисунок 9.4 — Повреждения радиально-упорного шарикоподшипника из-за недостатка смазочного материала:

а) цвета побежалости на сепараторе разрушенного подшипника;

б) повреждения подшипника 3530

- недостаток смазочного материала (рисунок 9.5);



Рисунок 9.5 — Повреждения радиально-упорного шарикоподшипника из-за недостатка смазочного материала

Перечень ссылок

1. Механическое оборудование: техническое обслуживание и ремонт / В.И. Бобровицкий, В.А. Сидоров. — Донецк: Юго-Восток, 2011. — 238 с.
2. Сидоров В.А. Нарушение смазывания как причина отказов подшипников качения // Металлообработка: оборудования и технологии для профессионалов, 2010. — №4. — С. 18-22.
3. Сидоров В.А. Нарушение смазывания как причина отказов подшипников качения // Металлообработка: оборудования и технологии для профессионалов, 2010. — №5. — С. 72-74.

Вопросы для контроля

1. Что обеспечивает смазывание трущихся поверхностей?
2. Назовите основные виды смазочных материалов.
3. Перечислите основные требования к эксплуатации систем пластичной смазки.
4. Перечислите основные требования к эксплуатации систем жидкой смазки.

5. Что проверяют при контроле поступления смазочного материала?
6. Чем отличается принцип работы контактных и бесконтактных уплотнений?
7. Назовите основные причины повреждений при нарушении смазывания.

10. Правила технической эксплуатации типовых деталей, узлов и механизмов

Перечень требований составлен на основании [1] с учётом общепромышленных Правил [2], утверждённых Государственным Комитетом промышленной политики Украины.

10.1. Фундаменты

Установка оборудования на фундаменте включает:

- укладку опорных элементов;
- установку оборудования на опорные элементы и совмещение отверстий базовой детали с фундаментными болтами;
- выверку оборудования в плане, по высоте, горизонтальности;
- предварительную фиксацию перед подливкой;
- подливку зазора «механизм-фундамент»;
- закрепление оборудования затяжкой фундаментных болтов с заданным усилием.

Пакеты металлических подкладок, применяемых в качестве постоянных опорных элементов, составляют из стальных установочных и регулировочных подкладок толщиной более 5 мм и 0,5-5,0 мм соответственно. Общее число подкладок в пакете не должно превышать 5 шт. Рекомендуется использовать пирамидальные пакеты подкладок, что обеспечивает их устойчивое положение. Выставляют пакеты подкладок на фундаменте перед затяжкой около 1,5 мм выше проектной отметки опорной поверхности оборудования.

Подливку оборудования выполняют не позднее 48 часов после проверки точности выверки оборудования. Подливаемые поверхности оборудования и фундаментов очищают от смазки, посторонних предметов и увлажняют (воду в углублениях и приямках удаляют). Не разрешается проводить подливку при температуре окружающего воздуха ниже 5 °С без подогрева укладываемой смеси. Толщина слоя подливки под оборудованием должна составлять 50-60 мм, а при ширине опорной части базовой детали более 2 м — 80-100 мм. Класс бетона, используемого для подливки, должен быть не ниже класса бетона фундамента, а для установки оборудования с динамическими нагрузками — не менее чем на одну ступень выше. Поверхность слоя подливки в течение 3 суток после завершения работ систематически увлажняют. Для сохранения влаги открытые участки поверхности подливки рекомендуется засыпать древесными опилками или укрывать мешковиной.

Окончательную затяжку резьбовых соединений выполняют в 2-3 обхода после достижения бетонной смесью не менее 70% проектной прочности, о чем следует получить справку от строительной организации. Болты затягивают в шахматном порядке симметрично относительно осей опорной части оборудования, начиная с болтов, расположенных на этих осях.

При осмотре проверять:

- наличие трещин (при обнаружении через каждые 150-200 мм установить «маяки» из алебастра, разрыв «маяка» через 2-3 дня после установки свидетельствует о необходимости ремонта фундамента);
- плотность прилегания корпуса к фундаменту по всему периметру (при неплотном прилегании произвести подливку);
- степень затяжки гаек фундаментных болтов;
- наличие масляных пятен (части фундамента, пропитанные маслом, вырубить и отремонтировать).

10.2. Резьбовые соединения

Не допускается ослабление резьбовых соединений: систематически ослабляющиеся болтовые соединения подлежат замене или конструктивному изменению. Резьбовые соединения устанавливаются только тех типов и размеров, которые предусмотрены чертежом. Эксплуатация машин, механизмов и узлов, в которых количество установленных резьбовых соединений меньше предусмотренного чертежом, не допускается.

Для предупреждения самоотвинчивания резьбовых соединений обязательно применяют один из способов стопорения:

- контргайкой;
- пружинной шайбой;
- шплинтом разводным;
- стопорной шайбой;
- шайбой с усиками.

Пружинные шайбы должны плотно прилегать к опорным поверхностям по всему периметру. Не допускается установка пружинных шайб, у которых развод концов в месте разреза меньше половины толщины тела шайбы. При болтовом соединении деталей с наклонными поверхностями устанавливают косые шайбы.

Затяжку и отвинчивание резьбовых соединений проводят стандартным инструментом. При завинчивании гайка должна перемещаться по нарезке болта без качания, с небольшим сопротивлением. Зев ключей должен соответствовать размерам гаек. Не допускается пользование ключами большего размера с применением прокладок.

В собранном соединении *стержень болта* (шпильки) не должен выступать над гайкой более чем на 2-3 витка резьбы. Не допускается применение удлиненных болтов с установкой под гайки нескольких шайб или гаек большего диаметра.

Шпильки должны быть плотно (до упора) завернуты по краске (сурик, белила) в своих гнёздах. Шпильки, вывёртывающиеся при отвинчивании гаек, подлежат замене.

При приёмке и сдаче смен обязательной проверке подлежат резьбовые соединения, испытывающие переменные нагрузки либо воздействие высоких температур.

10.3. Шпоночные соединения

Контроль шпоночных соединений выполняют систематически во время проведения ТОиР оборудования, при этом проверяют:

- надёжность крепления (стопорения) клиновых и тангенциальных шпонок;
- смещение, ослабление посадки шпонки;
- смятие рабочих поверхностей шпонок, шпоночных пазов.

Во время приёмки и сдачи смены осмотру подлежат шпоночные соединения, расположенные вне закрытых корпусов и испытывающие знакопеременную нагрузку.

10.4. Соединительные муфты

При приёмке и сдаче смен необходимо убедиться в отсутствии:

- на работающей муфте:
 - посторонних шумов (щелчков, потрескиваний и др.);
- на неработающей муфте:
 - зазора между торцевыми поверхностями полумуфт (обойм);
 - нарушения посадок полумуфт, зубчатых втулок на валах;
 - уменьшения или ослабления затяжки крепёжных деталей;
 - трещин (по масляным подтёкам и скоплению пыли возле повреждённых мест, по звуку при лёгком постукивании молотком).

Пополнение зубчатых муфт производят смазкой ОЗП-1 до появления гидравлического сопротивления усилию заправки. Запрещается смазка муфт пластичными смазками в чистом виде. Недопустима эксплуатация зубчатых муфт, у которых вследствие износа уплотнений происходит утечка смазки.

Ревизию соединительных муфт необходимо проводить при плановых остановках оборудования на ремонт в следующие сроки:

- поперечно-свёртных, продольно-свёртных, втулочно-пальцевых и зубчатых — не реже одного раза в 15 суток;
- компенсирующих муфт с промежуточным диском — не реже одного раза в месяц.

При ревизии следует проверять:

- стабильность посадки полумуфт на валах;
- состояние полумуфт (наличие трещин — по звуку при лёгком обстукивании молотком, по масляным подтёкам и скоплению пыли возле повреждённых мест или по пятнам, появляющимся при испытании известковой обмазкой);

- величину зазора между торцевыми плоскостями;
- взаимное расположение осей соединяемых валов.

При смещении вдоль оси, ослаблении посадки на валу полумуфты заменяют. *Не допускается* установка прокладки между валом и отверстием ступицы полумуфты, кернение вала, приварка полумуфты к валу. Полумуфты соединительных муфт всех типов, втулки зубчатых муфт с трещинами подлежат обязательной замене.

При ревизии зубчатых муфт необходимо:

- проверить состояние и износ зубьев полумуфт и втулок;
- проверить состояние уплотнительных колец;
- проверить взаимное положение осей соединяемых валов;
- при сборке после ревизии или ремонта промыть внутреннюю полость корпуса смесью керосина с маслом индустриальным И-12А и после просушки залить свежим смазочным материалом (ОЗП-1).

Не допускается эксплуатация зубчатых муфт при поломке более 10% зубьев, при износе зубьев по толщине свыше 30% первоначального размера. При соединении валов зубчатыми муфтами перекос осей валов допускается не более $1,5^\circ$ при отсутствии смещения осей.

Высохшие фетровые и войлочные *кольца* промыть, просушить и пропитать смазкой, изношенные уплотнительные кольца заменить.

Поперечно-свёртные, втулочно-пальцевые и в муфты с промежуточным диском подлежат *центровке*, если:

- величина относительного смещения соединяемых валов, измеренная при помощи угольника или щупа в четырёх диаметрально расположенных точках наружной поверхности полумуфты, превышает 0,3 мм;
- разность величины зазора, измеренная клиновым щупом в диаметрально противоположных точках, превышает 0,001 наружного диаметра полумуфт.

В муфтах с промежуточным диском зазор между выступами диска и впадинами полумуфт не должен превышать 0,5-2,0 мм (в зависимости от размера муфт и мест их установки).

Во втулочно-пальцевых муфтах выработка отверстий для крепления пальцев не допускается. Максимальный зазор между упругими кольцами и отверстиями в полумуфте допускается не более 3% от диаметра пальца (на сторону).

10.5. Тормозные устройства

При приёмке и сдаче смен проверяют:

- плотность прилегания фрикционного материала тормозных колодок или лент к тормозному шкиву при замкнутом тормозе;
- нагрев тормозного шкива, а также неравномерность и степень выработки фрикционной облицовки колодок или лент;
- состояние рабочей поверхности тормозного шкива (обнаруженные масляные подтёки удалить);

- крепление груза, шарнирных соединений рычагов и тяг тормоза;
- лёгкость перемещения штока вручную; отсутствие подтекания рабочей жидкости (не реже одного раза в неделю уровень рабочей жидкости в толкателе, которая должна доходить до торца наливного отверстия и быть не ниже 8 мм от него; не реже двух раз в месяц шарнирные соединения смазывать пластичной смазкой).

Не допускается работа механизма при неисправном или неотрегулированном тормозе.

В течение смены необходимо:

- следить за нагревом шкива и фрикционной облицовки тормозных колодок или лент (при чрезмерном нагреве этих деталей, появлении дыма, запаха гари проверить регулировку тормозной пружины и равномерность отхода колодок или лент);
- при резком или слабом торможении отрегулировать тормоз;
- не реже одного раза в неделю смазывать шарнирные соединения, оси и втулки рычагов тормоза;
- проверить величину хода якоря электромагнита или угла поворота его (если ход якоря недостаточен для компенсации износа облицовки, отрегулировать тормоз).

Периодические осмотры тормозов производят не реже одного раза в 30-45 дней, при этом дополнительно проверяют:

- степень износа фрикционного материала колодок или лент и обода тормозного шкива;
- одновременность и равномерность отхода колодок (лент) от шкива при растормаживании;
- степень износа шарнирных соединений рычагов и тяг тормоза.

Ход или угол поворота якоря электромагнита регулируют таким образом, чтобы при его крайнем положении обеспечивалось надёжное торможение при максимальной выработке фрикционного материала. «Мёртвый» ход системы тяг и рычагов тормоза, приведенный к якорю электромагнита не должен превышать 10% хода последнего. При растормаживании тормоза колодки (ленты) должны отходить от шкива одновременно и равномерно, образуя одинаковые зазоры с поверхностью шкива на всём протяжении обкладок фрикционного материала. Тяги и рычаги, у которых отверстия для осей (валиков) изношены более чем на 5% номинального диаметра, подлежат замене.

При уменьшении толщины *фрикционного материала* (обкладок) на тормозных колодках (лентах) до 50% выполняется его замена.

Фрикционный материал колодок (лент) должен прилегать к тормозному шкиву не менее чем на 80% общей поверхности контакта, в противном случае необходимо:

- проверить правильность установки тормоза и устранить перекосы;
- проверить постановку и положение заклёпок, выступающие и неправильно установленные заклёпки переклепать;

- простучать обкладки фрикционного материала колодок (лент) при помощи медной оправки для устранения местных выступов.

Ревизию тормозов производят не реже одного раза в два месяца.

При ремонте, но не реже одного раза в полгода, производить промывку и смену масла в толкателе. Заливку свежего масла производить при вертикальном положении толкателя.

10.6. Подшипники качения

При приёмке и сдаче смены обязательному осмотру подлежат:

- подшипники, в работе которых в предыдущую смену замечены отклонения;
- подшипники ответственных машин и механизмов.

При осмотре необходимо проверить нагрев подшипниковых узлов и поступление смазочного материала, оценить характер шума при работе.

В подшипниках, оборудованных *централизованными системами смазки*, не менее одного раза в смену следует проверять работу питателей. Штоки-указатели всех питателей должны занимать одинаковые положения (быть либо приподнятыми, либо опущенными до упора). Питатели, не сработавшие в течение трёх последовательных циклов нагнетания, подлежат ремонту или замене. Разборку или замену вышедших из строя питателей при подаче смазки автоматической станцией САГ следует производить только после переключения станции на ручное управление.

При обнаружении на поверхности шеек задиров, рисок или других дефектов повреждённые места необходимо зашлифовать мелконаждачным полотном и отполировать.

При эксплуатации подшипниковых узлов необходимо следить за состоянием *уплотняющих устройств*. Неисправности, связанные с нарушением пыленепроницаемости и возникновением утечек, должны быть немедленно устранены. При каждой ревизии войлочные и фетровые уплотнительные кольца необходимо очистить от грязи, промыть в керосине, высушить и заново пропитать расплавленной смазкой. Обуглившиеся уплотнения подлежат обязательной замене.

При закладной смазке подшипников заполнение корпусов смазочным материалом следует производить не более чем на 2/3 свободного пространства корпуса. Очистку, промывку и перезарядку подшипников, работающих в нормальных условиях, требуется производить не реже одного раза в 6 месяцев; при работе в условиях повышенной температуры (более 60 °С) или насыщенности окружающего пространства пылью (влажностью) — не реже одного раза в 3 месяца.

Ревизию подшипников общего назначения следует проводить не реже одного раза в год, крупногабаритных — не реже одного раза в 4 месяца.

При ревизии следует проверять:

- состояние и качество поверхности беговых дорожек тел качения и сепараторов (по возможности);
- величину радиального и осевого зазора и плотность посадки колец подшипника;
- состояние уплотнительных устройств.

10.7. Подшипники скольжения

При приёмке и сдаче смен обязательному осмотру подлежат:

- подшипники, в работе которых в предыдущую смену замечены отклонения;
- в консольно расположенных подшипниках и подшипниках ответственных машин и механизмов — степень нагрева, надёжность крепления корпуса и крышки, достаточность поступления смазочного материала.

В подшипниках *с кольцевой смазкой* проверяют характер вращения кольца (равномерность, отсутствие перебоев) и подачу масла кольцом. Лёгкий звон кольца указывает на недостаток масла, замедленное вращение — на его избыток или повышенную вязкость.

При ревизии дополнительно:

- очищают и промывают ванну, заменяют отработанное масло свежим, назначенного сорта и марки (не реже одного раза в 3 месяца в условиях агрессивной среды);
- осматривают поверхность смазочных колец и проверяют прочность замков, соединяющих полукольца.

В подшипниках, обслуживаемых *циркуляционными системами жидкой смазки*, систематически в течение смены следует проверять по указателям протока достаточность поступления масла. Струя масла должна быть непрерывной. При осмотре редуктора с циркуляционной смазкой подшипников необходимо проверять показания манометров, указывающих давление масла на входе; при нулевом показании манометра в системах, не оборудованных сигнализацией, или давления менее 50 кПа, в системах оборудованных сигнализацией, следует прекратить работу машины и выяснить причину отсутствия давления.

Подачу *пластичных смазок* требуется проводить не реже одного раза в 4 месяца.

Систематически следует проверять наличие *утечек* смазки: пролитые смазочные материалы должны быть немедленно убраны, а место пролива очищено.

Ревизию подшипников следует проводить при остановке на ревизию механизмов, в которых они установлены, при этом требуется проверять:

- щупом зазор между цапфой вала и вкладышем (для регулируемых подшипников при необходимости вкладыш подтянуть);
- состояние рабочих поверхностей цапфы и вкладышей (втулок), а также характер их износа;
- правильность взаимного положения валов;
- состояние и размеры масляных карманов (развалов холодильников и маслораспределительных канавок) вкладышей;
- состояние смазочных устройств (повреждённые маслёрки заменить), уплотнений, крепления маслоотражателя, войлочные и фетровые кольца очищать от грязи, промывать в промывочной жидкости, высушивать и пропитывать в масле или

расплавленной смазке в течение 30-40 минут; обуглившиеся войлочные, кожаные, фетровые кольца заменить;

- состояние контрольно-измерительных приборов.

Мелкие задиры и неглубокие риски, обнаруженные на рабочей поверхности цапф, необходимо удалять зашлифовкой мелкозернистым наждачным полотном или бархатным напильником на месте; такие же дефекты на рабочей поверхности вкладышей следует удалять шабровкой. Не разрешается обрабатывать наждачным полотном вкладыши, залитые антифрикционным сплавом. Вкладыши (втулки), в теле которых обнаружены трещины, подлежат замене.

Баббитовые вкладыши подлежат перезаливке с последующей подгонкой по шейке вала при обнаружении одного из следующих дефектов:

- расслаивание или отслаивание от корпуса вкладыша баббитового слоя (обнаруживается по глухому дребезжащему звуку при простукивании);
- уменьшение толщины баббитового слоя на величину, превышающую допускаемые нормы для механизма.

При обнаружении матовой поверхности на шейке вала и мозаичной на рабочей поверхности вкладыша, что свидетельствует о наличии *блуждающих токов*, необходимо тщательно изолировать подшипник от их источника.

Рабочие поверхности вкладышей должны быть пришабрены по шейке вала с плотностью шабровки не менее 4 пятен на 1 см² для валов с частотой вращения более 300 об./мин. и не менее 2 пятен на 2 см² — для остальных. Наибольшая густота пятен должна располагаться под углом 80-90° симметрично относительно направления действия нагрузки; шейка вала должна прилегать к вкладышу не менее 60% поверхности опорного вкладыша. В подшипниках, испытывающих знакопеременную нагрузку, пришабриванию подлежат как нижний, так и верхний вкладыши.

Уменьшение диаметра шеек валов допускается не свыше 2% величины, указанной на чертеже, при спокойной нагрузке и не более 1% при ударной или знакопеременной нагрузке.

В подшипниках *не допускается устанавливать прокладки*, кроме прокладок, располагаемых в месте разъёма вкладышей для регулирования диаметрального зазора.

Перед установкой валов рабочую поверхность цапф смазывают

10.8. Зубчатые передачи и редукторы

При приёмке и сдаче смен следует проверять:

- уровень масла в редукторе (убедиться в исправности указателя путём пробного слива масла через контрольный кран или пробку);
- наличие утечек масла (принять меры к устранению);
- поступление масла из брызгал;
- достаточность поступления масла к подшипникам и зубчатым зацеплениям в редукторах, снабжённых индивидуальными циркуляционными системами смазки (при необходимости отрегулировать подачу);

- герметичность соединений маслопроводов, давление и температуру масла на входе и выходе (в ванне редуктора с цилиндрическими и коническими передачами 60 °С, с червячными передачами 75 °С), перепад давления до фильтра охладителя и после него;
- наличие смазочного материала на зубьях открытых передач и реечных зацеплений (при необходимости смазать).

При картерной смазке необходимо поддерживать такой уровень масла, чтобы:

- смазывающие колёса цилиндрических передач, вращающихся с окружной скоростью более 3 м/с, погружались в масло не более чем на высоту зуба;
- конические колёса при окружных скоростях до 5 м/с погружались в масло на всю длину зуба;
- червяк в червячных передачах погружался не более чем на высоту витка, а при верхнем расположении червяка — не более чем на высоту зуба червячного колеса.

При замене масла внутреннюю поверхность корпуса редуктора и расположенные в нём детали необходимо очистить от грязи и промыть керосином. В редукторах, подвергающихся при работе интенсивному нагреву, замену масла необходимо производить не реже одного раза в год.

Места разёма корпусов редукторов, крышки подшипников и крышки люков для осмотра зацеплений и заливки масла должны быть надёжно уплотнены.

Ревизию открытых зубчатых передач следует проводить при остановке механизмов, в которых они установлены, ревизию редукторов – не реже одного раза в год.

При ревизии проверяют:

- состояние рабочих поверхностей зубьев шестерен и степень их износа;
- размеры и характер пятен контакта на нескольких зубьях каждой пары (при обнаружении неравномерности износа проверить правильность положения и кривизну валов);
- взаимную центровку зубчатых пар;
- надёжность крепления зубчатых колёс на валах, а также крепления балансировочных грузов на зубчатых колёсах, в бандажированных колёсах — плотность посадки венца (надёжность крепления и затяжки резьбовых соединений при наличии);
- состояние маслосистемы, исправность контрольно-измерительных приборов при наличии, другой аппаратуры, сопел, коллекторов и пр., чистоту маслопроводящих трубок и воздухообменника (отдушины);
- очистку корпуса редуктора и его деталей от грязи и отложений.

Не допускается работа механизмов, если в редукторе обнаружены необычный шум, стук или повышение температуры масла свыше допустимого предела. При обнаружении на поверхности вала трещины её кромки вырубаются и зачищаются наждачным кругом по всей длине на всю глубину, устанавливается допустимость ремонта или необходимость замены вала. При наличии остаточных деформаций,

скручивания или поперечных трещин глубиной выше 5% от диаметра валы подлежат замене.

10.9. Цепные передачи

При приёмке и сдаче смен во время осмотра проверяют:

- поступление и качество смазки, достаточность поступления масла из брызгал (при необходимости отрегулировать подачу масла);
- наличие утечек масла (подлежат устранению), герметичности соединений маслопроводов;
- в тихоходных передачах, не имеющих закрытого корпуса, — наличие смазочного материала на звеньях цепи (при необходимости смазать).

При приёмке и сдаче смен во время осмотра проверяют:

- натяжение ветвей передачи и плавность её работы (провисание не более 2% от межосевого расстояния для горизонтальных и 0,2% — для вертикальных передач);
- смазывание цепи, при необходимости заменить масло в картере, очистить систему струйной смазки; уровень отработанного масла в нижней части картера должен быть ниже движущейся ведомой ветви;
- температуру работающей цепи (не более 70 °С);
- вибрацию ветвей, усиление шума передачи, касание цепью кожуха или других деталей (не допускается).

Ревизию открытых цепных передач следует проводить при остановке на ревизию механизмов, в которых они установлены, закрытых передач — не реже одного раза в год.

При этом, промыв передачу, проверяют:

- рабочие поверхности и степень износа зубьев звёздочек, звеньев цепи, втулок, роликов, шпонок, шпоночных пазов, отверстий в ступицах;
- вытяжку цепи;
- дефекты валов и подшипников.

10.10. Гидравлические и пневматические цилиндры

При приёмке и сдаче смен:

- проверить работу цилиндра и состояние гибких шлангов подвода рабочей жидкости, воздуха в цилиндр, а также уплотнений цилиндров;
- ввести шприцем смазку в полость пневмоцилиндра при заедании поршня (если заедание поршня продолжается, заменить цилиндры);
- проверить величину износа штоков и состояние их поверхности, при появлении задиров зачистить и смазать штоки;
- проверить крепление цилиндров на механизмах;
- опробовать исправность действия цилиндров.

В течение смены:

- вести тщательное наблюдение за правильностью функционирования;

- при обнаружении перепуска рабочей жидкости с одной полости в другую немедленно остановить механизм и принять меры по устранению.

При длительных остановках машин и механизмов необходимо отключить все магистрали гидросистемы и сжатого воздуха и обесточить аппаратуру управления.

Ревизии и ремонты следует проводить по мере необходимости, но не реже одного раза в год. При этом необходимо:

- промыть, протереть и проверить детали цилиндра, вертлюга и воздухораспределителя;
- зачистить и отшлифовать мелкозернистой наждачной бумагой места на внутренней поверхности цилиндра и штока поршня, имеющие незначительные задиры;
- заменить:
 - цилиндр при износе рабочей поверхности более 1 мм или наличии задиров и трещин;
 - шток цилиндра, если он погнут или имеет задиры, трещины, износ поверхности на глубину более 0,3 мм, а также при порыве резьбы и износе отверстия под ось более 1 мм по диаметру;
 - втулки штока при зазоре между ними и штоком более 0,3 мм;
 - поршень с изношенными пазами колец;
 - изношенные манжеты и кольца, уплотнения, золотник и другие детали заменить.

При сборке:

- тщательно смазать солидолом все трущиеся части;
- установить крышки так, чтобы отверстия для спуска в конденсатор находились в самой нижней части цилиндра;
- надёжно и равномерно затянуть болтовые соединения и проверить, чтобы при этом не нарушалась плавность движения штока по длине рабочего хода;
- отрегулировать посредством регулировочных иголок тормозные устройства так, чтобы к крайнему положению шток подходил плавно, без ударов о крышки цилиндра;
- испытать цилиндр на герметичность давлением, превышающим рабочее на 0,2 МПа, в течение 30 минут (утечка не допускается).

10.11. Прочие типовые элементы оборудования

При осмотре *проволочных канатов* проверяют:

- выпучивание прядей и перекрутки, обрыв прядей, наличие заломов и смятых участков (не допускается);
- количество обрывов проволок на длине шага свивки каната (не более 14% на одном шаге свивки, для стропа количество обрывов наружных проволок на длине $3d$ — 4; $6d$ — 6; $30d$ — 16);
- укладку каната в канавки барабана (блока);

- надёжность затяжки болтов крепления конца каната и закрепления зажимов (хомутов);
- износ и коррозию (не более 40% первоначального диаметра проволок, не более 7% от диаметра каната);
- достаточность смазки (при необходимости смазать).

Условия браковки *блоков*:

- износ ручья более 40% первоначального радиуса;
- частичные обломы реборд не более 75 мм.

Перечень ссылок

1. Механическое оборудование: техническое обслуживание и ремонт / В.И. Бобровицкий, В.А. Сидоров. — Донецк: Юго-Восток, 2011. — 238 с.
2. Правила технической эксплуатации механического оборудования доменных цехов, утверждённые Государственным Комитетом промышленной политики Украины 11.10.2000г.

Вопросы для контроля

Назвать основные обязанности персонала по ТО:

1. Фундаментов.
2. Резьбовых соединений.
3. Шпоночных соединений.
4. Соединительных муфт.
5. Тормозных устройств.
6. Подшипников качения.
7. Подшипников скольжения.
8. Зубчатых передач и редукторов.
9. Цепных передач.
10. Гидравлических и пневматических цилиндров.
11. Проволочных канатов и блоков.