

УДК 622.73:621.926

**МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ РЕГЛАМЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ДРОБИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Журавлев А.Г., Чендырев М.А., Глебов И.А., Черепанов В.А.

Введение (Introduction)

Неотъемлемая часть качественного сопровождения жизненного цикла горного оборудования – наличие комплектов эксплуатационной документации и документов, регламентирующих организацию технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Если первое – традиционная прерогатива предприятия-изготовителя, то второе существенно зависит от имеющейся ремонтной базы, условий работы и режимов эксплуатации оборудования, горно-геологических, природно-климатических и горнотехнических факторов. А потому в общем случае изготовители могут предоставить только порядок выполнения операций ТОиР, а также расчетную их периодичность, не дифференцированную по условиям эксплуатации.

Дробильное оборудование является одним из ключевых для горнодобывающих предприятий, поскольку обеспечивает подготовку руды к последующему обогащению. От стабильной и производительной его работы зависит производительность и эффективность всех последующих переделов, а значит, и общие затраты.

Наряду с применением современного дробильного оборудования важно обеспечить ритмичную безаварийную его работу для достижения высоких показателей коэффициентов технической готовности и использования во времени.

Решением вопроса могут быть комплексные регламенты ТОиР, нормирующие структуру ремонтного цикла, обоснованную периодичность и объем по видам ТОиР, срок службы узлов и деталей, а также пооперационные типовые технологические карты выполнения ТОиР. Разработка таких регламентов для каждого конкретного эксплуатирующего предприятия дает наиболее точные результаты [1-14].

Тем не менее, основой для разработки конкретных мероприятий для каждого предприятия, эксплуатирующего дробилки, является базовый регламент ТОиР, утвержденный производителем данного оборудования. Учитывая высокие на сегодняшний день требования к их детальной проработанности и соответствию разноплановым условиям эксплуатации, их разработка является сложной задачей, требующей сбора и систематизации больших объемов статистических данных. Однако необходимость таких регламентов ТОиР как унифицированных документов, поставляемых в комплекте эксплуатационной (ремонтной) документации совместно с оборудованием, очевидна. Они являются базой для выстраивания стратегии ТОиР на каждом конкретном предприятии с учетом всех конструктивных и эксплуатационных особенностей и рекомендованных производителем мероприятий.

Актуальной задачей для производителей горного оборудования является создание объединяющей регламентирующей документации для выполнения ремонтных работ, в том числе для планирования эксплуатационных затрат, расчета коэффициента готовности,

расчета количества ремонтных бригад, учитывающей не только конструктивные особенности дробилок, но и статистическую информацию о работе узлов на обогатительных фабриках и горных предприятиях в различных реальных условиях эксплуатации.

Результатом сотрудничества ПАО «Уралмашзавод» и ИГД УрО РАН стала разработка комплекса Технологических регламентов на техническое обслуживание и ремонт конусных и щековых дробилок, выпускаемых машиностроительным гигантом: семейства дробилок среднего и мелкого дробления (КМД и КСД) типоразмера 2200, конусных дробилок крупного дробления (ККД-1500), щековых дробилок с простым качанием щеки (тип ЩДП). Следует отметить, что регламент не исключает использование эксплуатационной документации, поставляемой с дробилкой, а является органичным элементом системы технического обслуживания и ремонта предприятия (рис. 1).



Рисунок 1 – Роль и место регламентов ТОиР в пирамиде элементов системы технического обслуживания и ремонта предприятия (на примере конусных дробилок КСД/КМД-2200)

Методы (Materials and Methods)

Методы, применяемые при проведении исследований: анализ, обобщение, классификация, 3D компьютерное моделирование, статистическая обработка данных, наблюдение (хронометраж, оценка трудоемкости ремонтных операций и др.).

Описание проведения исследований

В разрабатываемых регламентах ТОиР на основании проведенных исследований необходимо было выполнить:

- 1) На основе статистического анализа данных по работе дробилок на горных предприятиях классифицировать условия эксплуатации.
- 2) Структурировать и обобщить по данным с реальных горнодобывающих предприятий: методы и способы ведения работ по ремонту и обслуживанию дробилок; наработку основных узлов и деталей дробилок в конкретных условиях эксплуатации.
- 3) Разработать структуры ремонтного цикла в соответствии с предложенной классификацией условий эксплуатации дробилок.
- 4) Определить прогнозную периодичность замены запасных частей.
- 5) Обобщить с учетом опыта эксплуатации дробилок в реальных условиях на различных предприятиях трудозатраты (нормы) выполнения операций ТОиР.

б) Составить перечень мероприятий по ТОиР дробилок в гарантийный период и послегарантийный период, включая техническое обслуживание (ТО), текущие ремонты (Т1, Т2, Т3 и др.), капитальный ремонт (КР):

7) Разработать 3-D модели, наглядного отражающие особенности выполнения операций ТОиР дробилок.

Материалы, используемые при разработке регламентов: комплекты технической документации, поставляемой с дробилками; инструкции и регламенты ТОиР, применяемые на предприятиях; журналы технического обслуживания и ремонтов предприятий; технологические схемы работы предприятий; данные о перерабатываемых рудах. В процессе проведения исследований была проведена статистическая обработка журналов технического обслуживания и ремонтов на конкретных предприятиях за многолетний период (на ряде предприятий более 10-30 лет), выполнялся хронометраж времени проведения основных ремонтов и операций технологического цикла, оценивалась минимальное и оптимальное количество требуемого персонала.

Результаты (Results)

Современный опыт Института горного дела УрО РАН по разработке регламентов ТОиР на примере дробилок производства ПАО «Уралмашзавод» позволил выработать следующие принципы их построения:

- структура ремонтного цикла должна учитывать срок службы узлов и деталей по опыту эксплуатации, а для новых видов оборудования – на основе расчетных ресурсов с последующим уточнением опытом;

- структура ремонтного цикла, как правило, должна дифференцироваться по условиям эксплуатации (например, для дробильно-размольного оборудования – по свойствам пород и т.п.);

- в зависимости от условий эксплуатации изменяется не только периодичность, но также виды и последовательность ремонтов, что позволяет поддерживать работоспособность и производительность на высоком уровне при минимизации эксплуатационных затрат;

- регламенты должны содержать типовые технологические карты по видам ТОиР, обеспечивающих удобство обучения персонала и разработки внутренних регламентных документов на ГОКах, унификацию описания операций, а также нормирование по трудоемкости и применяемому инструменту;

- для повышения информативности регламента должны использоваться качественные иллюстрации, основанные на 3D-моделях машин и узлов, которые в свою очередь увязываются с комплексом эксплуатационной и ремонтной документации.

Большой диапазон условий эксплуатации дробилок создает сложности для стандартизации ремонтных циклов. Исследования показателей наработки узлов и деталей конусных и щековых дробилок на горнодобывающих предприятиях позволили выявить основные факторы, влияющие на периодичность ремонтов:

- режим работы (годовая производительность, равномерность загрузки в течение суток, месяца и др.);

- крепость (прочность), «вязкость» перерабатываемых руд;

- абразивность перерабатываемых руд;

- качество дробления руд взрывом в карьере и др.

Систематизация собранного объема статистических данных о наработке на отказ узлов и деталей, сложившейся периодичности ремонтов, характерных видах износа позволила сформулировать стандартизованные ремонтные циклы по следующим категориям:

- легкие условия (угли, строительные материалы и иные непрочные горные породы, более прочные породы при невысокой интенсивности загрузки дробилки);
- стандартные условия (относительно легкие) (железные руды с крепостью до 10-11 по шкале Протоdjяконова, апатит-нефелиновые руды и др.);
- тяжелые условия (высоконагруженные) (как правило, руды цветных металлов);
- особо тяжелые (переработка высокоабразивных прочных руд) (железистые кварциты, особо прочные граниты и др.).

Исходные данные для разработки методики построения стратегии технического обслуживания и ремонтов были получены на ряде ведущих предприятий, разрабатывающих медные и железорудные месторождения России (более 10 крупнейших ГОКов, карьеров и шахт), а также на нескольких предприятиях по добыче строительного сырья. Их обработка и анализ связаны с большой трудоемкостью не только при переводе в цифровой формат, но и при последующей статистической обработке. Это связано с необходимостью «отсекать» ошибочные и неверные данные, вызванные неточностью ведения учетной документации по ремонтам, а также выявлять общие закономерности в сроках службы узлов для их систематизации и последующего нормирования.

На рисунке 2 приведен пример данных первичной обработки статистики по среднему сроку службы до замены броней дробящего конуса дробилок серии ККД-1500 на одном из предприятий, перерабатывающих руды крепостью порядка 10 по шкале проф. М.М. Протоdjяконова. Видно, что значения разнятся даже для дробилок, установленных на одном предприятии, что связано в том числе с загрузкой разных типов руд месторождения в разные приемные бункеры, а также колебанием качества первичного дробления (взрывного разрушения) руд в карьере. Тем не менее, после отсечения чрезмерно высоких и чрезмерно низких значений можно выделить зону наиболее вероятных величин, которые позволяют определить назначенный ресурс детали или узла.

Наиболее трудоемким является обработка массива данных по разным предприятиям, характеризующего диапазон условий эксплуатации дробилок и выделение значений наработки на отказ, характерных для разных групп условий.

На рисунке 3 приведены данные по ходимости броней чаши семейства дробилок ККД-1500 для ГОКов, добывающих и перерабатывающих прочные руды. Несмотря на некоторые отличия механических свойств дробимых руд (крепость пород в диапазоне 14–17 по шкале проф. М.М. Протоdjяконова, абразивность по бонду $A_i=0,4-0,6$ грамм, плотность 2,5-3,2 т/м³) показатели наработки на отказ броней дробильной чаши для предприятий ГОК1–ГОК3 близки. Следовательно, для данной группы условий эксплуатации дробилок может быть установлен единый назначенный ресурс броней. В то же время при переработки менее твердых руд (ГОК 4 по рисунку 3) срок службы броней значительно выше. Таким образом, очевидна необходимость дифференциации назначенных ресурсов для отдельных элементов дробилки в зависимости от условий эксплуатации (свойств перерабатываемых руд).

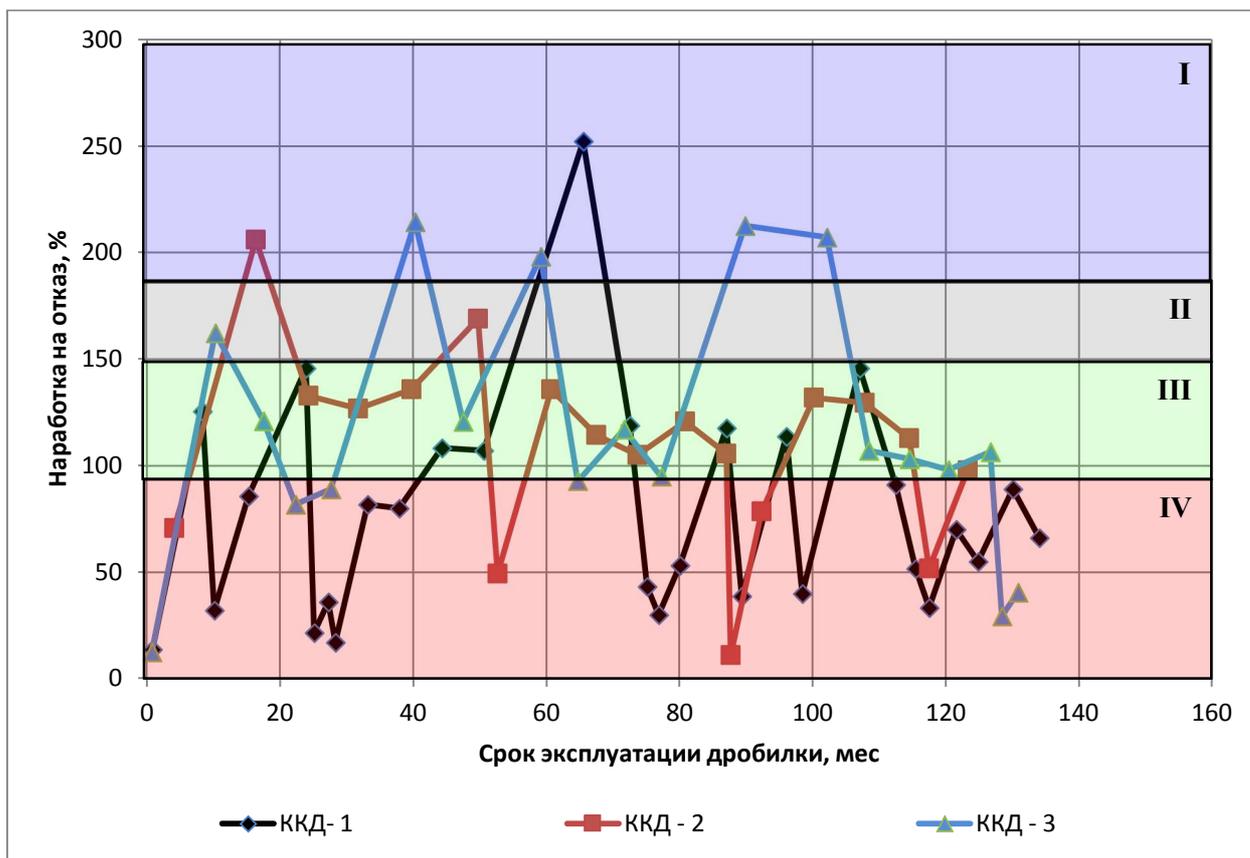


Рисунок 2 – Средний срок службы до замены броней дробящего конуса дробилок серии ККД-1500 для средних по нагруженности условий эксплуатации

I – нехарактерные данные (всплески), вызванные невысокой загрузкой дробилки, низким коэффициентом использования или отсутствием записей в агрегатных журналах; *II* – зона высоких показателей наработки на отказ узла; *III* – зона средних значений наработки на отказ, принимаемых для нормирования; *IV* – зона низких значений наработки на отказ (аварийные ситуации, некачественные детали)

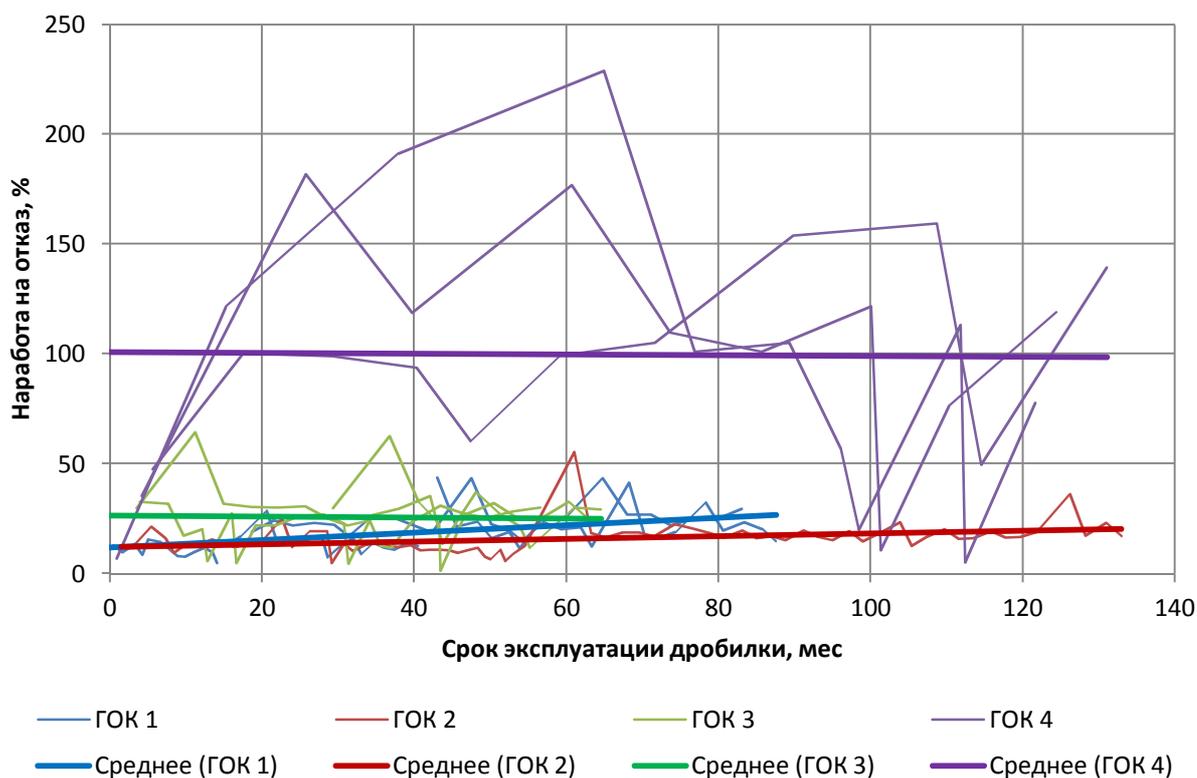


Рисунок 3 – Диапазон значений средних сроков службы до замены броней дробильной чаши дробилок серии ККД-1500

Зависимость среднего срока службы от условий эксплуатации наиболее выражена и очевидна для деталей дробилок, контактирующих с перерабатываемой породой (броней, футеровок и т.п.). Однако закономерность наблюдается и для других узлов, прежде всего, опорных и несущих подшипниковых узлов. Наблюдаются и специфическое влияние отдельных условий эксплуатации на ресурс деталей. Например, пыль от высокоабразивных руд, проникая в узлы трения, вызывает их повышенный износ, при этом усилия дробления, пропорциональные крепости пород, могут быть средними.

На рисунке 4 приведены сроки службы сферического подпятника – одного из наиболее ответственных элементов, который выполняет роль опорного подшипника скольжения для дробящего конуса. Выход его из строя вызывает остановку дробилки, а его состояние является индикатором нагрузок на дробящий конус, а значит, и на все корпусные узлы. Очевидно, что попытка только статистической обработки данных (рис. 5) не даст достоверного результата, т.к. не ясны причины существенных отклонений. Принять обоснованные решения о сроке службы позволяет анализ дополнительной информации: условий эксплуатации, фактической периодичности ремонтов, качества используемых запасных частей. В итоге установлено, что высокие значения сроков службы (более 20 месяцев) характерны для высококачественных (оригинальных) деталей, которые устанавливались в первоначальный период эксплуатации дробилки (это видно из рисунка 5). Использование же неоригинальных запасных частей ведет к более частому выходу их из строя. Таким образом, рационально дифференцировать нормы наработки на отказ для сферического подпятника конкретного горнодобывающего предприятия с учетом качества применяемых при ремонтах запасных частей.

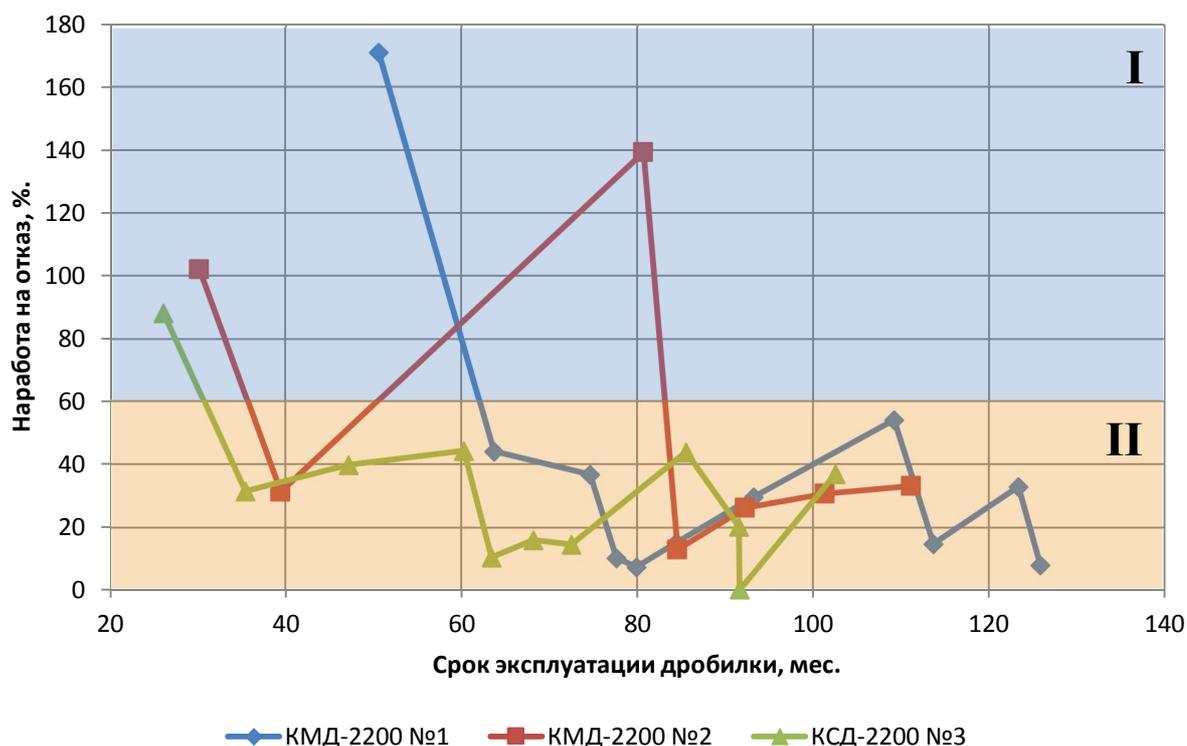


Рисунок 4 – Нарботка на отказ сферического подпятника конусных дробилок среднего и мелкого дробления КСД-2200 и КМД-2200

I – высокие значения наработки, характерные для качественных (оригинальных) деталей; II – средние значения, характерные для неоригинальных запасных частей

Получение такой информации по данным статистики позволяет далее выполнять оптимизацию стратегии ТОиР. На основе технико-экономических расчетов можно установить вариант, обеспечивающий минимальные затраты и приемлемый коэффициент готовности: при длительном межремонтном интервале и высокой стоимости запасных частей или при низкой и цене, но частой замене. Либо определить минимально допустимый срок службы запасных частей в увязке с их стоимостью, что будет являться основой для поиска приемлемого поставщика.

Важный вопрос – выбор стратегии построения ремонтного цикла. С точки зрения максимальной бережливости, наиболее рациональным будет выработка полного ресурса каждого из узлов и деталей. Однако это приведет к большому количеству ремонтов, поскольку ресурс деталей отличается. При этом ремонты будут нерациональными: необходимо разбирать дробилку для замены всего 1-2 деталей. А уже через 1-2 месяца повторять разборку, чтобы заменить другие 1-2 детали. Таким образом, увеличивается время простоя в ремонтах в течение года и затраты на их выполнение. Зато сроки службы деталей могут быть строго регламентированы и вероятность аварийного их выхода из строя будет минимизирована.

Обратная ситуация – когда ремонты не дифференцированы по видам, а замена деталей регламентируется «по техническому состоянию». При простоте регламентации и составления графика ремонтов возрастает нагрузка на ремонтный персонал в период проведения ремонтов, т.к. средств и методов для проведения достоверной диагностики

состояния узла, как правило, не предоставляется. А кроме того, увеличивается количество аварийных выходов деталей из строя в межремонтный период.

В таблице 1 приведены преимущества и недостатки обоих вышеописанных подходов к организации ремонтов. Рациональной будет такая стратегия, при которой при достаточном минимуме видов ремонтов их периодичность выстроена в соответствии со сроками наработки на отказ наиболее значимых узлов и деталей машины, и кратна назначенным срокам службы остальных деталей, а конкретные сроки замены нормируются в пределах гарантированной наработки на отказ.

Таблица 1 – Стратегии построения ремонтных циклов

Высокая дифференциация	Достаточный минимум
ТО1-ТО2-Т1-ТО1-ТО2-Т2-ТО1-ТО2-Т3-ТО1-ТО2-Т4- ... -КР	ТО-ТО-Т1-ТО-ТО-Т2-ТО-ТО-Т1-ТО-ТО-Т2-...-КР
<p>Преимущества:</p> <ul style="list-style-type: none"> - возможность более точного планирования сроков замены изношенных деталей; - при точном выполнении всех операций ТОиР затраты на ТОиР будут более оптимальны 	<p>Преимущества:</p> <ul style="list-style-type: none"> - простота планирования и организации ТОиР; - универсальность для разных условий эксплуатации
<p>Недостатки: сложная календарная сетка ТОиР; внеплановые выходы из строя деталей могут «свести на нет» оптимизацию расхода запасных частей; одновременная замена деталей при разборке может требовать более частых ремонтов, что увеличивает трудоемкость и простои в ремонтах</p>	<p>Недостатки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - сложно добиться полной выработки ресурса всех деталей; - календарная сетка замены изношенных деталей содержит целый ряд позиций с «плавающей» периодичностью («заменить при износе»)

Разработанная методика формирования структуры ремонтных циклов дробильного оборудования: состоит из следующих этапов:

1. Собирается подробная статистика о сроках службы до замены и наработке на отказ узлов и деталей дробилок.

2. Для определения периодичности текущих ремонтов детали разбиваются на группы по наработке на отказ (при отсутствии таких данных – среднему сроку службы до замены) исходя из статистических данных и их анализа.

3. Формируется структура ремонтного цикла.

3.1. При определении периодичности ТОиР в обязательном порядке предусматривается:

- ежесменное (ежедневное) техническое обслуживание (ЕТО) не реже 1 раза в сутки;
- основное техническое обслуживание (ТО) не реже 1 раза в месяц;
- текущие ремонты (Т1, Т2 и т.д. в зависимости от принятой структуры);
- капитальный ремонт (в отдельных случаях, связанных с тем, что большая часть изнашиваемых деталей заменяется или восстанавливается при текущих ремонтах, допускается выполнять распределенный капитальный ремонт, совмещаемый частями с одним из видов текущих ремонтов).

3.2. Замена деталей с меньшим сроком службы относится к ремонтам T1, а с большим сроком службы к T2 и T3. При назначении периодичности ремонтов следует избегать как чрезмерно частой замены деталей (увеличение расходов на ремонты), так и необоснованно редкой, повышающей риск аварийных отказов, повреждения корпусных деталей.

3.3. Необходимо также учитывать следующее:

- T1 как правило регламентируется периодичностью замены броней подвижных частей;

- T2 как правило связан с периодичностью замены броней неподвижных частей (а в случае совмещения в структуре ремонтного цикла T2 с T3 должен выполняться не реже 1 раза в год).

Ремонты более высокого уровня (например, T2) должны включать в себя работы ремонтов низшего уровня (например, T1) и быть синхронизированы с ними по времени. Например, T2 выполняется по времени вместо одного из очередных ремонтов T1.

Исключение может составлять замена броней при некратности сроков их службы.

3.4 Периодичность капитальных ремонтов дробилок на конкретном предприятии определяется сроком службы базовых деталей (дробящий конус, станина, эксцентриковый узел и др.) до необходимости восстановительного ремонта, определенным по опыту эксплуатации.

4. Структура ремонтного цикла рассматривается в нескольких вариантах при варьировании назначенного срока службы до замены по группам деталей, количества видов ремонтов и их кратности и др. По каждому варианту определяется трудоемкость, продолжительность, затрачиваемые ресурсы. При решении задачи оптимизации стратегии ТОиР выполняется технико-экономическая оценка.

5. Методом вариантов определяется рациональная структура ремонтного цикла по значимым критериям:

- выполнение необходимого перечня работ для поддержания конструктивной надежности дробилок;

- обеспечение заданного коэффициента готовности оборудования, установленного на основе необходимого коэффициента использования, определяемого годовой производственной программой;

- обеспечение максимальной производительности дробилок (снижение простоев в ремонтах и исключение аварийных внеплановых выходов из строя);

- минимизация суммарных расходов на ТОиР с учетом затрат на оплату труда ремонтного персонала, расходные материалы и запасные части, потери от простоев оборудования в ремонтах.

6. С учетом выбранной структуры ремонтного цикла уточняются назначенные сроки службы узлов и деталей, которые не должны превышать сроки наработки на отказ. Единицы измерения выбираются в зависимости от условий работы узлов и характера износа. Для деталей, контактирующих с дробимым материалом, целесообразно назначать ресурс в количестве переработанного материала, для остальных элементов – в машино-часах, для узлов, непосредственно воспринимающих нагрузки при дроблении – комбинированно.

Для деталей с большим ресурсом целесообразно устанавливать ориентировочный срок службы с заменой по техническому состоянию, назначая обязательный перечень диагностических работ, выполняемых периодически.

7. Определяются критерии выбраковки деталей, которые базируются на данных производителя оборудования о предельно допустимых параметрах и состояниях узлов и деталей и уточняются с учетом опытных данных и особенностей эксплуатации дробилок на конкретном предприятии.

На рисунке 5 приведен пример структуры ремонтного цикла.

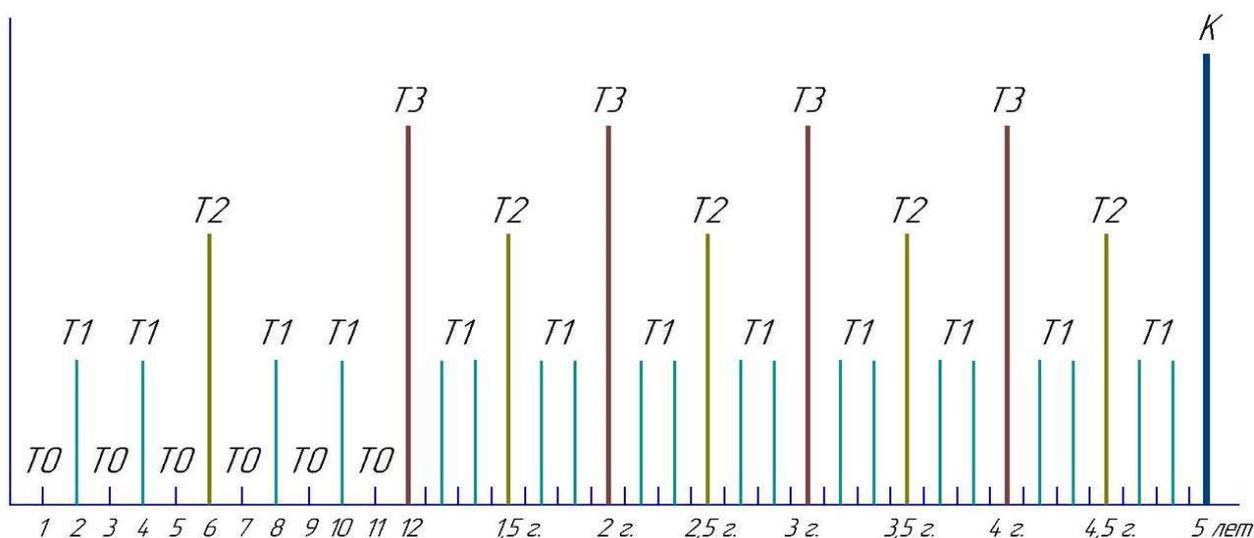


Рисунок 5 – Пример структуры ремонтного цикла дробилок в стандартных условиях (периодичность указана в месяцах / годах при круглосуточном круглогодичном режиме работы дробилки)

ТО – техническое обслуживание, *T1, T2, T3* – текущий ремонт по видам, *K* – капитальный ремонт

Заключение (Conclusion)

1. Основная проблема, решённая в ходе выполненных работ – сопоставление рекомендаций по эксплуатации завода-изготовителя с реальным многолетним опытом эксплуатации горнодобывающих предприятий. Была проведена классификация условий эксплуатации дробильного оборудования, собраны и проанализированы статистические данные по ходимости запасных частей в зависимости от прочностных характеристик перерабатываемой руды, обобщен опыт ведения ремонтных работ на ряде ведущих предприятий, разрабатывающих медные и железорудные месторождения, а также на нескольких предприятиях по добыче строительного сырья, кроме этого обобщена нормативно-техническая и конструкторская документация по ремонту и обслуживанию дробильного оборудования. На основании проведенных исследований разработана методика формирования регламентов системы технического обслуживания и ремонта дробильного оборудования.

2. Разработанная методика может применяться не только для создания регламентов ТОиР на вновь выпускаемое оборудование, но и для адаптации регламентов в конкретных условиях эксплуатации (для конкретных горнодобывающих предприятий) при соответствующем научно-техническом сопровождении.

3. Основные причины для внедрения разработанного методического подхода к созданию регламентов технического обслуживания и ремонта оборудования на горнодобывающих предприятиях:

1) Эксплуатационная надежность машин (наработка между ремонтами, «ходимость» деталей и узлов и т.п.) в значительной мере зависит от условий эксплуатации каждого конкретного ГОКа.

2) Документация о выполняемых ремонтах в большинстве своем ведется только в бумажном виде без использования централизованных информационных систем. В этом случае нет возможности автоматизированно обрабатывать и учитывать весь комплекс факторов при разработке регламентов ТОиР.

Решение должно стать внедрение автоматизированных информационных систем сбора и обработки информации о состоянии, техническом обслуживании и ремонте горного оборудования (цифровой платформы).

3) Разработка регламентно-эксплуатационной документации требует увязки не только технических, но и организационно-технологических вопросов, характерных для каждого конкретного горного производства.

4. В связи с утерей существовавшей ранее системы прикладных/отраслевых НИИ, которые занимались вопросами научно-технического сопровождения эксплуатации горного оборудования в настоящее время вопросы сбора данных и накопления статистики ложатся на горнодобывающие предприятия, эксплуатирующие дробилки, и производителей горного оборудования.

Эффективным решением проблемы является взаимодействие производителей оборудования с профильными научно-исследовательскими институтами для комплексной проработки регламентов ТОиР.

5. Организация системы ТОиР и стратегии технической эксплуатации дробильного оборудования с учетом унифицированных Регламентов ТОиР для конкретных предприятий может выполняться на базе известных современных методик [1-3].

6. Развитием исследований может стать разработка методик автоматизированного учета статистических данных и расчета на их базе структуры ремонтных циклов, периодичности и объема технического обслуживания и ремонта дробильного оборудования, формирование на основе этих данных планов закупки запасных частей. Такая информационная система может стать частью единой цифровой платформы поддержки технической эксплуатации оборудования.

Библиографический список

1. Данилкин А.А., Мартынов В.Ю., Андреева Л.И., Красникова Т.И. Подходы к формированию эффективной системы ремонтного обслуживания горной техники // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – №5(114). – С. 39-43.

2. Андреева Л.И. Оценка резервов повышения эффективности процесса рудоподготовки в АО "Ковдорский ГОК" // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 1. – С. 185–195.

3. Андреева Л. И., Давлетшина Д. Р. Анализ систем планово-предупредительных ремонтов: стратегия профилактики // Горное оборудование и электромеханика– 2014. – № 6(103). – С. 38–42.

4. Антоненко И. Н., Крюков И. Э. Эволюция практик и информационных систем управления ТОиР // Автоматизация в промышленности. – 2011. – № 10. – С. 27–30.
5. Баскакова Н. Т., Пимонова Т. К., Симаков Д. Б., Баландина Т. А. Разработка принципов стратегии планирования ТОиР в системе менеджмента предприятия // Сталь. – 2014. – № 4. – С. 108–114.
6. Sinha R.S., Mukhopadhyay A.K. Failure rate analysis of Jaw Crusher: a case study // Sādhanā, 2019, Vol. 44, Article number: 17
7. Sinha R.S., Mukhopadhyay A.K. Failure analysis of jaw crusher and its components using ANOVA // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2016, Vol. 38, pp. 665–678.
8. Sinha R.S., Mukhopadhyay A.K. Reliability centered maintenance of cone crusher: a case study // International Journal of System Assurance Engineering and Management, 2015, Vol. 6, pp. 32–35.
9. Gharahasanlou A.N, Ataei M., Khalokakaie R., Barabadi A. Einian V. Risk based maintenance strategy: a quantitative approach based on time-to-failure model // International Journal of System Assurance Engineering and Management, 2017, Vol. 8, pp. 602–611.
10. Кондратов Л. А., Смалько В. Н. Повышение надежности оборудования за счет дальнейшего совершенствования системы ТОиР и внедрения новых современных материалов и технологий // Metallurg. – 2016. – № 5. – С. 88–91.
11. Нестеренко А. А. Внедрение современных ресурсных моделей определения стоимости ремонта и технического обслуживания технологического оборудования на предприятиях горнодобывающей промышленности // Экономика и предпринимательство. – 2014. – № 11-3(52). – С. 697–699.
12. Иванов В. А., Фещенко А. А. Особенности подходов к техническому обслуживанию и ремонту оборудования в непрерывном производстве // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2018. – Том 20. – № 3. – С. 82–89.
13. Мачулов В. Н. Современные системы технического обслуживания и ремонта оборудования в мировой горнодобывающей отрасли // Горная промышленность. – 2013. – № 4(110). – С. 77-80.
14. Боева Л. М., Основина О. Н., Основин С. В. Оптимизация графиков планово-предупредительных ремонтов в рамках информационной системы "планирование ремонтов" АО "Лебединский горно-обогатительный комбинат" // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 2(41). – С. 33-40.