

УДК 622.73:621.926

Журавлев Артем Геннадиевич

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией
транспортных систем карьеров и геотехники,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, д. 58
e-mail: juravlev@igduran.ru

Глебов Игорь Андреевич

научный сотрудник,
лаборатория транспортных
систем карьеров и геотехники,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: glebov@igduran.ru

Черепанов Владимир Александрович

научный сотрудник,
лаборатория транспортных
систем карьеров и геотехники,
Институт горного дела УрО РАН,
e-mail: transport@igduran.ru

**МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
РЕГЛАМЕНТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ
РУДОРАЗМОЛЬНЫХ МЕЛЬНИЦ***Аннотация:*

В последнее 10-летие на горнодобывающих предприятиях России интенсифицировался процесс наращивания производительности по выпуску готовой продукции, что влечет за собой как модернизацию, так и мобилизацию резервов производительности имеющегося на обогатительных фабриках оборудования. В этих условиях важным становится формирование такой системы их технической эксплуатации, которая обеспечила бы выполнение вышеуказанных задач. В статье представлены результаты выполненной работы по обоснованию параметров системы технической эксплуатации мощных рудоразмольных мельниц. Отражены выявленные специфические методические аспекты и основные закономерности, а также результаты анализа нормативной документации. Установлено, что требуется разработка актуальных нормативно-справочных документов, обеспечивающих формирование эффективной системы технической эксплуатации мельничного оборудования горнодобывающих предприятий. Представлены результаты разработки методического подхода к обоснованию рациональной структуры ремонтного цикла для мельниц, обеспечивающего минимизацию простоев мельниц в ТОиР, в т.ч. за счет адаптации к конкретным условиям эксплуатации (физико-механические свойства руды, технологическая схема дробильно-измельчительного производства и др.). Сформулирована рациональная структура регламента технического обслуживания и ремонтов тяжелых рудоразмольных мельниц.

Ключевые слова: мельницы рудоразмольные, система технической эксплуатации, регламент технического обслуживания и ремонта, ремонтный цикл, мельницы.

DOI: 10.25635/2313-1586.2024.01.068

Zhuravlev Artem G.

Candidate of Technical Sciences,
Head of Laboratory of transport systems
and geomechanics,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg, 5
8 Mamina-Sibiryaka Str.,
e-mail: juravlev@igduran.ru

Glebov Igor A.

Scientific Researcher,
Laboratory of transport systems
and geomechanics,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: i.glebov@igduran.ru

Cherepanov Vladimir A.

Scientific Researcher,
Laboratory of transport systems
and geomechanics,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: transport@igduran.ru

**METHODOLOGICAL ASPECTS
OF REGULATION OF MAINTENANCE
SYSTEM FOR ORE-GRINDING MILLS***Abstract:*

Over the last 10 years, Russian mining enterprises have intensified the process of increasing productivity in the production of finished products, which entails both modernization and mobilization of productivity reserves of equipment available at processing plants. Under these conditions, it becomes important to form a system for their technical operation (maintenance system) that would ensure the fulfillment of the above tasks. The article presents the results of the work performed to substantiate the parameters for the technical operation system of powerful ore grinding mills. The identified specific methodological aspects and basic patterns are reflected, as well as the results of the analysis of regulatory documentation. It has been established that the development of up-to-date regulatory and reference documents is necessary to ensure the formation of an effective system for the technical operation of mill equipment at mining enterprises. The results of the development of a methodological approach to substantiate the rational structure of the repair cycle for mills, ensuring the minimization of mill downtime during maintenance and repair, including due to adaptation to specific operating conditions (physical and mechanical properties of ore, technological scheme of crushing and grinding production, etc.). A rational structure for the maintenance and repair regulations for ore-grinding mills has been formulated.

Key words: ore-grinding mills, maintenance system, maintenance schedule, repair cycle, mills.

Введение

Тяжелые рудоразмольные мельницы являются одним из основных видов оборудования дробильно-обогащительных фабрик, а повышение показателей их работы, например, коэффициента технического использования по ГОСТ 18322-2016 [1] и ГОСТ Р 27.102-2021 [2] (ранее применялся термин «коэффициент технической готовности»), обеспечивает заметное снижение расходов на их эксплуатацию и резерв увеличения производительности предприятия в целом.

Фактическая производительность мельниц зависит от многих факторов, в числе которых:

- физико-механические свойства измельчаемого материала (крупность, крепость, твердость, абразивность и т.д.);
- крупность питания (гранулометрический состав подаваемой руды);
- требования, предъявляемые к продукту измельчения;
- условия работы (количество и размерный состав загрузки мелющих тел, технологическая схема измельчения и другие факторы). Поэтому производительность мельниц может колебаться в широких пределах, и эта особенность должна учитываться при выборе мельниц при проектировании их применения;
- техническое состояние оборудования (зависит от уровня системы технического обслуживания и ремонтов, реализуемой на конкретном предприятии, от качества поставляемых запасных частей, от квалификации персонала и др.).

Повышение производительности оборудования не может ограничиваться только установкой новых более мощных машин. Соответствующим образом должна настраиваться система его технической эксплуатации. Неотъемлемая часть качественного сопровождения жизненного цикла горного оборудования – наличие комплектов эксплуатационной документации, в том числе регламентирующей ремонт и обслуживание горной техники на эксплуатирующем предприятии [3 – 5].

Под системой технической эксплуатации понимается совокупность организационно-управленческой структуры, инфраструктуры и логистических ресурсов всех видов, эксплуатационной и ремонтной документации, обеспечивающая работоспособное состояние и техническую готовность мельницы к использованию по назначению [6] (авторы используют определение «системы технической эксплуатации» по ГОСТ Р 53394-2009 [6] как более подходящее к теме данной статьи и не противоречащее определению в действующем ГОСТ Р 53394-2017 [7]).

Система технической эксплуатации, включающая техническое обслуживание и ремонты (ТОиР), является важной составляющей бесперебойной работы предприятий, а обеспечение надежности и достижение высокой производительности оборудования непосредственно связано с его своевременным и правильным обслуживанием. Созданная в 60 – 80-е годы нормативная база по ТОиР мельниц требует пересмотра и актуализации в связи с планомерным совершенствованием машин, повышением их производительности. Кроме того, в связи с интенсификацией горного производства повышаются требования к минимизации продолжительности выполнения ремонтов и повышению межремонтных интервалов.

Решение таких задач возможно во взаимосвязи с изменением конструктивно-эксплуатационных параметров мельниц. Так, например, увеличить срок службы футеровок возможно за счет увеличения их толщины и/или замены материала, из которого они изготавливаются, а также опосредованно при изменении характера потока материала по футеровкам, а продлить срок службы зубчатых передач – внедрением конструктивных решений для улучшения их центровки, компенсации ударных нагрузок и увеличения типоразмера зубьев и т.п.

Опыт выполненных исследований при разработке Регламентов ТОиР на рудоразмольные мельницы, выпускаемые ПАО «Уралмашзавод», выявил необходимость разработки специализированных методических основ по регламентации системы тех-

нической эксплуатации мощных рудоразмольных мельниц. Представленное исследование посвящено выявлению основных аспектов этой проблемы.

Методы

Проведен анализ имеющейся нормативной базы прежних лет [8 – 10] (отметим, что она требует актуализации). Эти данные использованы в качестве базы для определения ориентировочных закономерностей, использованных в дальнейшем при оценке неполных и разрозненных данных.

Для обоснованного формирования ремонтных циклов с учетом различных горно-геологических и организационно-технологических условий эксплуатации мельниц выполнен сбор и анализ фактических данных на ряде действующих горнодобывающих предприятий:

- принятая структура ТОиР;
- организация работ по ТОиР на предприятии, фактическая трудоемкость и последовательность операций;
- критерии предельного износа узлов и деталей при ремонтах, виды и методы диагностики;
- фактический расход запасных частей, фактический срок службы основных элементов (деталей);
- данные о характеристиках измельчаемого материала.

Выполнена статистическая обработка собранных данных, их анализ, сравнение с требованиями из нормативных источников, обобщение (с учетом разделения по условиям эксплуатации) для формирования итоговых регламентов на техническое обслуживание и ремонт, прежде всего – формирования ремонтных циклов.

Оценка работоспособности узлов и деталей мельниц выполнялась комплексно: сопоставлением статистических данных о фактических сроках службы узлов и деталей на горнодобывающих предприятиях, результатов расчетов нагрузок, а также анализа особенностей нагружения и изнашивания по трехмерным моделям узлов мельниц.

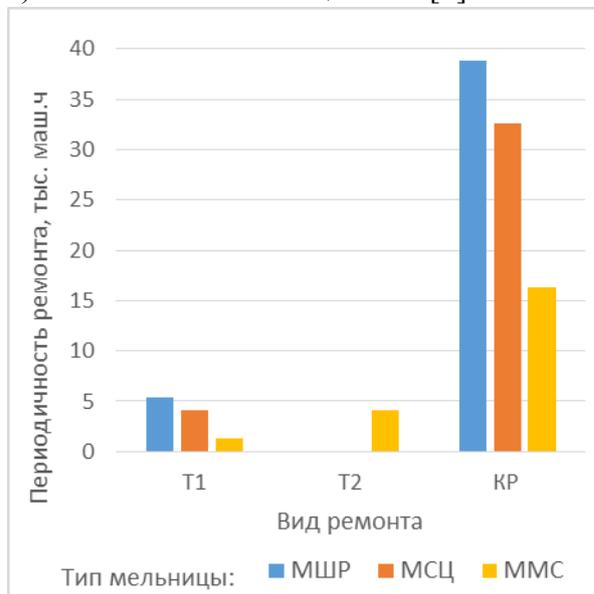
Результаты исследований

Анализ научно-технической литературы показал, что за последние десятилетия не проводилось системных исследований по методике обоснования параметров систем технической эксплуатации для рудоразмольных мельниц. Известны исследования, направленные на оптимизацию ремонтных работ [4, 11 – 12], развитие методов восстановления деталей горного оборудования [13 – 16]; часть работ посвящена применению моделирования для целей прогнозирования скорости и степени износа узлов и деталей дробильного и размольного оборудования [17 – 19]. Другим направлением для исследований являются обоснование параметров отдельных элементов системы технической эксплуатации или анализа достигнутых показателей, а также разработка регламентов технического обслуживания и ремонта дробильно-размольного оборудования для конкретных предприятий [3, 20 – 21].

Таким образом, отправной точкой при рассмотрении методических аспектов построения системы технической эксплуатации рудоразмольных мельниц могут служить принятые ранее (в настоящее время не носят обязательного характера) нормативы по техническому обслуживанию и ремонту [8 – 10]. Их анализ показал, что нормативная периодичность ремонта зависит как от типа мельниц, так и от их расположения в технологической схеме. Так, для мельниц, эксплуатируемых на II и III стадиях измельчения, срок службы быстроизнашиваемых деталей и, соответственно, периодичность ремонтов увеличиваются в 1,2 – 1,3 раза. На рис. 1 представлена нормативная периодичность для мельниц с металлической футеровкой, эксплуатируемых на I стадии измельчения. Нормативы, а также практика эксплуатации подтверждают, что при применении резиновой футеровки требуемая периодичность ремонтов возрастает до 2 раз, а их продолжительность до 2 раз может снижаться. Тип мельницы в сфере черной металлургии

мало влияет на периодичность плановых ремонтов, а вот в цветной металлургии периодичность ремонтов для мельниц стержневых и мельниц мокрого самоизмельчения ниже. Это объясняется характерными для той и другой горно-металлургической подотрасли особенностями применения мельниц в технологических схемах, которые определяют скорость износа футеровок.

а) Согласно ППР Минцветмет [9]



б) Согласно ВНТП Минчермет [8]

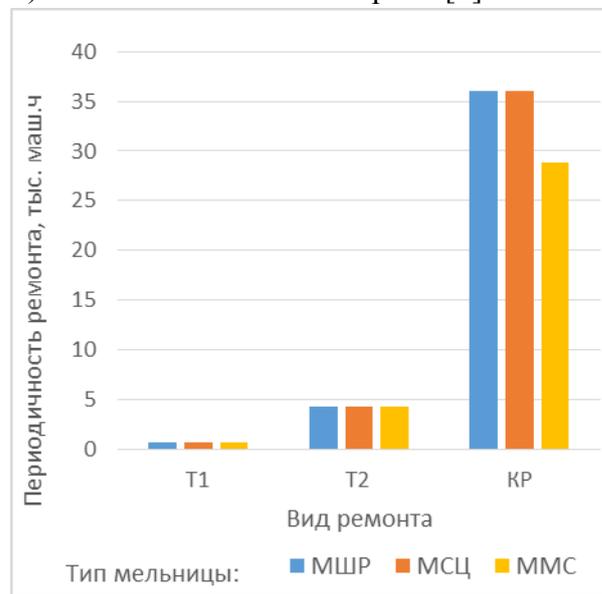


Рис. 1. Нормативная периодичность по видам ремонтов для разных типов мельниц согласно некоторым справочным документам [8 – 9]

Существенное влияние на периодичность ремонтов оказывает прочность и абразивность горных пород. Так, на рис. 2 приведена закономерность изменения периодичности плановых текущих ремонтов в зависимости от крепости пород (в данном случае учитывалось, что вместе с крепостью пропорционально возрастает и периодичность). Левая часть графика ограничивается коэффициентом периодичности 1,5 – 1,6, поскольку, несмотря на снижение крепости, абразивность пород не снижается менее базового наиболее характерного значения (специфические виды сверхмалоабразивных горных пород в данном случае не рассматриваются). Правая часть графика, как правило, не снижается менее 0,45 – 0,5, поскольку породы особо высокой крепости и абразивности – редкое явление.

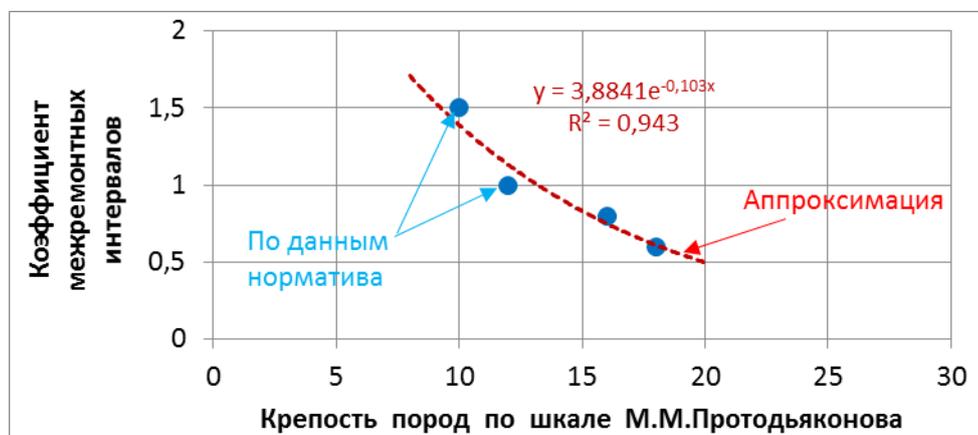


Рис. 2. Закономерность периодичности плановых текущих ремонтов мельничного оборудования, аппроксимированная по данным [9]

Современные данные о фактической периодичности ремонтов мельниц на горнодобывающих предприятиях в целом подтверждают данную закономерность (рис. 3, табл. 1): чем выше прочность и абразивность пород, тем меньше межремонтный интервал, больше количество ремонтов и, соответственно, ниже коэффициент технического использования мельниц. Однако имеется ряд особенностей, заключающихся в следующем:

- межремонтный интервал на II и особенно III стадиях измельчения меньше зависит от прочности пород и больше от абразивности, поскольку с уменьшением размера частиц происходит вскрытие зерен, которые обладают абразивностью, но за счет их малой массы вызывают меньший ударный износ;

- для ряда горных пород с особо абразивными зернами по мере продвижения по стадиям измельчения в технологической цепочке и вскрытия зерен износ футеровок увеличивается, и коэффициент технического использования мельниц может не возрастать относительно мельниц I стадии;

- ряд горных пород со специфическими реологическими свойствами вызывает повышенный износ футеровок мельниц на I стадии за счет более сильного ударного воздействия при повышенных упругих свойствах;

- на предприятиях с особо высокой абразивностью руд службами по эксплуатации принимаются меры по продлению срока службы футеровок (например, наплавка дополнительных металлических элементов в местах наибольшего износа, установка быстросъемных элементов, заменяемых оперативно в периоды кратковременных ТО и т.п.).

Из табл. 1 видно, что, несмотря на теоретическую целесообразность дифференциации периодичности и продолжительности ремонтов для разных типоразмеров мельниц (например, см. рис. 1), на практике ремонтный цикл для конкретных обогащительных производств формируется с учетом совмещения ремонтов мельниц во времени со смежным оборудованием, поэтому для некоторых разных по размеру мельниц периодичность и продолжительность ремонта принята одинаковой.

Еще одной важной особенностью формирования ремонтного цикла для мощных рудоразмольных мельниц в условиях высокопроизводительных производств является необходимость его адаптации к конкретным условиям с целью максимально возможного увеличения межремонтного интервала и по возможности полного использования ресурса деталей и быстроизнашиваемых частей. Разработан соответствующий алгоритм, обеспечивающий решение данной задачи:

- обеспечивается прогнозирование и нормирование срока службы основных деталей мельницы (по данным статистики наработки до износа в условиях данного производства и/или расчетов);

- выполняется ранжирование деталей по срокам службы от наименьшего к наибольшему;

- производится группировка сроков службы по интервалам, соответствующим межремонтным интервалам по видам ТОиР (группировка осуществляется по вариантам, определяемым экспертным и расчетным методом, для разного количества видов ремонтов и их периодичности);

- выполняется анализ ремонтных циклов, которые формируются на основе вышеуказанных интервалов, отбрасываются нерациональные;

- выполняется расчет и построение ремонтных циклов по оставшимся вариантам; осуществляется их оценка по эксплуатационным показателям: расчетный коэффициент технического использования (см. рис. 3), расходы на ТОиР машины или группы машин с учетом расходов на выполнение работ и заменяемые части и расходные материалы, потери от простоев оборудования в ремонтах и т.п.

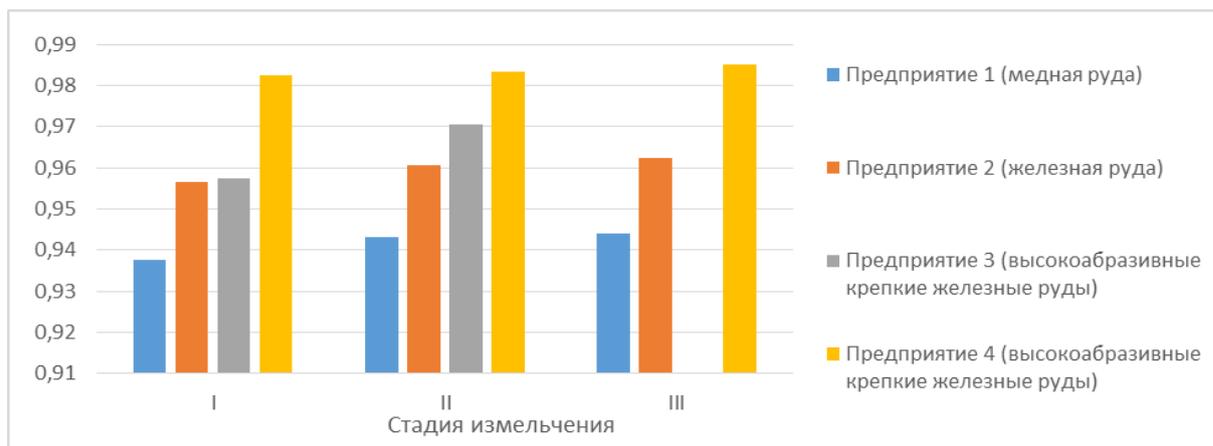


Рис. 3. Расчетный плановый коэффициент технического использования мельниц по некоторым горнодобывающим предприятиям (без учета аварийных ремонтов)

Такой подход проиллюстрирован на рис. 4. В данном случае периодичность Т3 выбрана с интервалом 1 год, детали с большими сроками службы заменяются при последующих Т2 или Т3, ближайших к моменту окончания ресурса. Капитальный ремонт назначается с учетом ресурса базовых деталей и узлов до восстановительного ремонта. Нередко данный срок определяется с учетом необходимости восстановления фундаментных или смежных мощных несущих конструкций.

Несмотря на расчетный срок службы (в том числе определяемый экспериментально или по итогам первичной промышленной эксплуатации) периодичность ремонтов должна формироваться по календарному времени эксплуатации (или машино-часам) и, как правило, кратно видам ремонтов низшего уровня для возможности составления равномерного графика ремонтов, гарантирующего безаварийную работу мельницы в межремонтный период. Поэтому ресурс некоторых деталей не вырабатывается в полной мере.

Это служит основой для завода-изготовителя по совершенствованию конструкции мельницы, чтобы повысить ее эксплуатационные качества в конкретных условиях эксплуатации, например применить футеровку, улиты, быстроизнашиваемые элементы большей толщины или из более износостойких материалов и т.п., что позволило бы увеличить периодичность ремонтов Т1, что автоматически продлило бы межремонтный период Т2 и Т3, позволяя полностью вырабатывать ресурс деталей привода и повысить коэффициент технического использования, обеспечив снижение затрат на эксплуатацию.

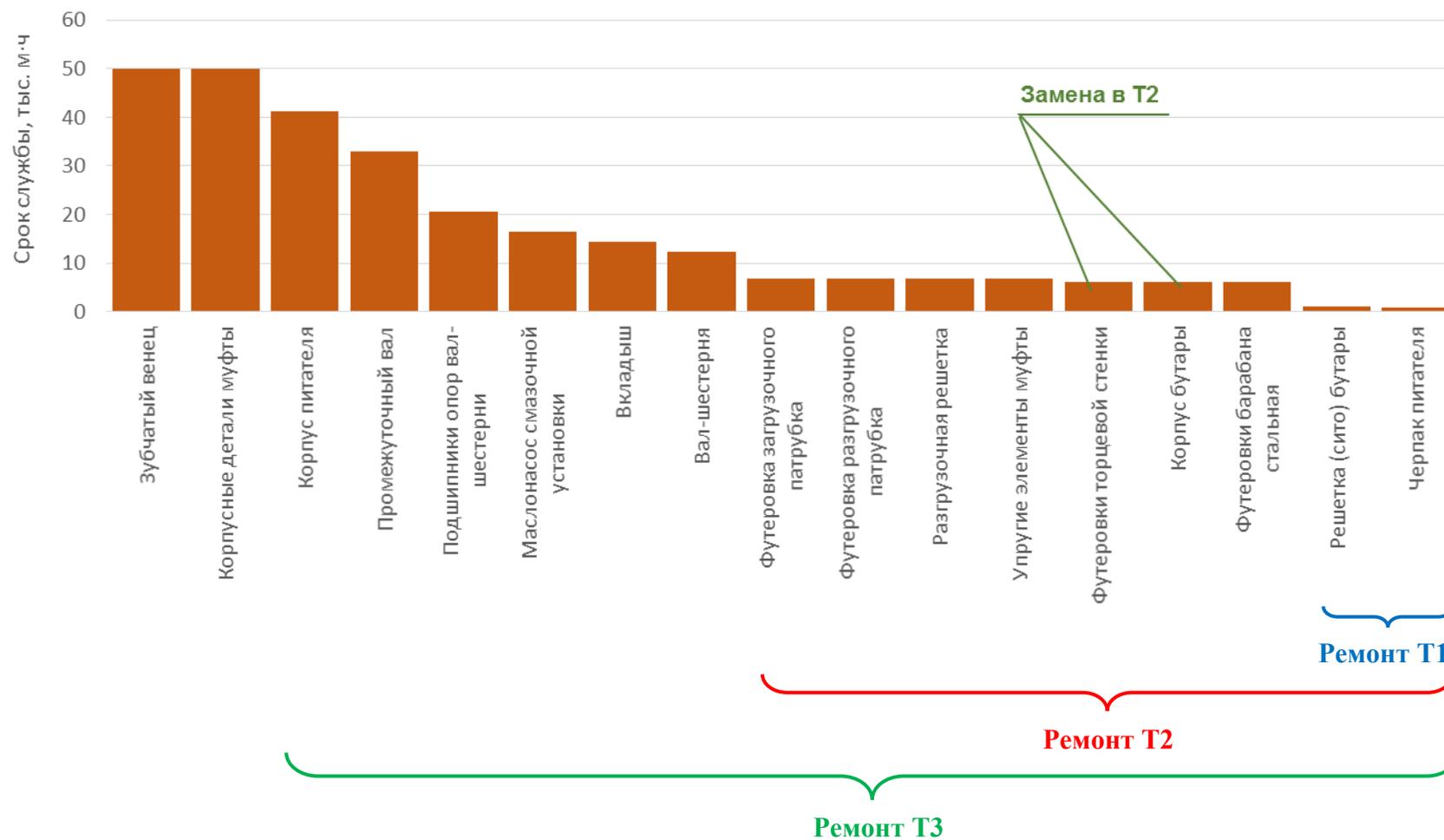


Рис. 4. Сопоставление сроков службы основных узлов и деталей мельниц и предварительное определение периодичности ремонтов для мельниц типа МШЦ-5950×6700 при переработке высокоабразивных крепких железных руд

Вышеуказанные методические принципы положены в основу при разработке регламентов технического обслуживания и ремонтов, выполненных ИГД УрО РАН по заказу ПАО «Уралмашзавод» для серии крупных мельниц. По итогам сопоставления нормативно-справочной литературы, практики организации ТОиР на горнодобывающих предприятиях, а также оптимизации содержания наработанных материалов разработана рациональная структура регламента технического обслуживания и ремонтов тяжелых рудоразмольных мельниц, включающая:

- 1) особенности устройства мельниц по видам и конструкциям, влияющие на организацию и выполнение ТОиР;
- 2) рациональную типовую структуру ремонтного цикла мельниц с дифференциацией их по условиям эксплуатации;
- 3) разработанный в соответствии с рациональной структурой ремонтного цикла и сроками службы узлов и деталей перечень мероприятий по ТОиР мельниц МШЦ, МСЦ, МШР, МПСИ, включая техническое обслуживание (ТО), текущие ремонты (Т1, Т2, Т3 и др.), капитальный ремонт (КР), учитывающий периодичность замены, сроки службы, перечень и количество заменяемых деталей, сведения о численности и квалификации обслуживающего персонала, а также трудозатраты выполнения операций ТОиР;
- 4) средний срок службы основных узлов и деталей мельниц для разных условий эксплуатации и критерии их выбраковки;
- 5) анализ возможных ошибочных действий персонала, которые могут привести к инциденту или аварии. Необходимые действия персонала в случае инцидента, критического отказа или аварии;
- 6) требования к безопасной эксплуатации, в том числе электробезопасности, при проведении ремонтных работ и обслуживании;
- 7) типовые технологические карты технического обслуживания мельниц;
- 8) типовые технологические карты разборки, сборки и ремонта основных узлов мельниц с пооперационным указанием требуемого количества персонала по специальностям и квалификации, а также нормативных значений трудозатрат;
- 9) перечень инструмента, оснастки и оборудования для выполнения работ по ТОиР;
- 10) типовые карты строповки основных узлов и агрегатов при выполнении грузоподъемных работ.

Учитывая развитие конструкций мельниц ПАО «Уралмашзавод» и совершенствование технологий ремонта, современные регламенты должны сопровождаться пооперационными типовыми технологическими картами технического обслуживания и ремонта мельниц. Они позволяют не только правильно выполнять ремонт, обеспечивая предусмотренный изготовителем уровень функционирования, но и спланировать потребность в инструментах, приспособлениях и материалах, а также ремонтных стендах, грузоподъемном оборудовании и такелажной оснастке. Все технологические карты в регламентах ТОиР снабжены качественными иллюстрациями, раскрывающими как внутреннее устройство мельниц, так и правильный порядок выполнения разборки, сборки и ремонта узлов, что позволяет эффективно обучать персонал горнодобывающих предприятий, обеспечивая высокий уровень знаний, и в конечном итоге ведет к качественной технической эксплуатации оборудования, его надежной и высокопроизводительной работе. Точность отображения устройства мельниц обеспечивается моделированием в современном программном комплексе для трехмерного моделирования («КОМПАС 3D»).

Выводы

1. Требуют разработки современные документы, нормирующие параметры системы технической эксплуатации рудоразмольных мельниц для горнодобывающих

предприятий. Они должны учитывать дифференциацию ремонтных циклов и сроков службы основных узлов и деталей в зависимости от прочности и абразивности руд, а также специфических их свойств, места мельницы в технологической схеме, типов применяемых футеровок и т.п. За основу может быть взят ряд базовых подходов и закономерностей, изложенных в аналогичных нормативах 1970 – 1980-х годов.

2. Особенности разработанного методического подхода к нормированию параметров системы технической эксплуатации:

– назначенные сроки службы узлов и деталей, а также структура ремонтного цикла должны учитывать дифференциацию в зависимости от условий эксплуатации мельниц, в т.ч. физико-механических свойств перерабатываемых горных пород;

– исходные параметры должны строиться на основе фактических данных по эксплуатации и ТОиР мельниц, а недостающие показатели рассчитываются исходя из математической модели механизма изнашивания, а при отсутствии достаточного количества данных для такой модели – на смежных данных методами экстраполяции и интерполяции.

3. Дальнейшим развитием разработанного методического подхода может быть разработка и внедрение автоматизированной системы поддержки технической эксплуатации мельниц, учитывающей как уже полученные научно-обоснованные алгоритмы и решения, так и дополнительные методики.

Список литературы

1. ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения = Maintenance and repair system of engineering. Terms and definitions: межгосударственный стандарт: издание официальное: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 22 ноября 2016 г. № 93-П): дата введения 1.09.2017. Разработан Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН). Москва: Стандартинформ, 2017, 16 с.

2. ГОСТ Р 27.102-2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения = Dependability in technics. Dependability of item. Terms and definitions: дата введения 01.01.2022: утвержден 8.10.2021. Москва: Российский институт стандартизации, 2021, 40 с.

3. Журавлев А.Г., Чендырев М.А., Глебов И.А., Черепанов В.А., 2020. Методический подход к разработке регламентов технического обслуживания и ремонта дробильного оборудования горнодобывающих предприятий. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3 – 1, С. 543 – 556. DOI: // 10.25018/0236-1493-2020-31-0-543-556

4. Андреева Л.И., Красникова Т.И., Ушаков Ю.Ю., 2019. Методология формирования эффективной системы обеспечения работоспособности горной техники. *Известия вузов. Горный журнал*, № 5, С. 92 – 106. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-5-92-106

5. Журавлев А.Г., Черепанов В.А., Чендырев М.А. и др., 2020. Научно-техническое сопровождение при разработке регламентов на техническое обслуживание и ремонт дробилок. *Проблемы недропользования*, № 2(25), С. 50 – 59. DOI 10.25635/2313-1586.2020.02.050.

6. ГОСТ Р 53394-2009. Интегрированная логистическая поддержка. Основные термины и определения = Integrated Logistic Support. Terms and Definitions: утвержден и введен в действие приказом Росстандарта №395-ст от 14.09.2009: дата введения 01.07.2010. Москва: Стандартинформ, 2010, 23 с.

7. ГОСТ Р 53394-2017. Интегрированная логистическая поддержка. Термины и определения = Integrated Logistic Support. Terms and Definitions: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метро-

- логии №109-ст от 10.03.2017: дата ведения 01.07.2017. Москва: Стандартинформ, 2018, 14 с.
8. *Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий черной металлургии с открытым способом разработки*. ВНТП 13-1-86: утверждены Министерством черной металлургии СССР 11.03.86 № 10-187. ГИПРОРУДА; рук. работы С.Б. Рубинштейн. Ленинград, 1986, 264 с.
9. *Положение о планово-предупредительных ремонтах оборудования и транспортных средств на предприятиях Министерства цветной металлургии СССР*: утверждено 06.10.1981. Министерство цветной металлургии СССР. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Недра, 1984, 176 с.
10. *Положение о планово-предупредительных ремонтах (ППР) механического оборудования предприятий черной металлургии СССР*. 2-е изд. Тула: ВНИИОчермет, 1973, 371 с.
11. Андреева Л.И., 2021. Выбор стратегии ремонтного обслуживания горной техники. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 4. – С. 83 – 91. DOI 10.21440/0536-1028-2021-4-83-91
12. Бойко П.Ф., 2017. *Технологические методы повышения эффективности ремонта и работы дробильно-измельчительного оборудования*: специальность 05.02.08 «Технология машиностроения» ... дис. на соискание ученой степени доктора технических наук Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова - (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС». Москва, 354 с.
13. Бойко П.Ф., Титиевский Е.М., Тимирязев В.А., 2017. Технологические особенности эксплуатации, ремонта, восстановления и модернизации конусных дробилок большой единичной мощности. *Горный журнал*, № 4, С. 71 – 75. DOI 10.17580/gzh.2017.04.14
14. Бойко П.Ф., Тимирязев В.А., Хостикоев М.З., Данилов И.К., 2018. Применение мобильного многоцелевого станка для восстановления отверстий в крупногабаритных деталях без их демонтажа. *СТИН*, № 11, С. 25 – 29.
15. Коротков В.А., Липатов А.Г., Веснин А.М., 2015. Инновационные технологии ремонтного восстановления и продления срока службы деталей и узлов горно-обогатительного оборудования. *Горный журнал*, № 8, С. 83 – 87, DOI 10.17580/gzh.2015.08.17
16. Andreeva L., Abramov S., 2023. Methods of mining machine components reconditioning and hardening by means of concentrated energy fluxes. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, No. 1, P. 7 – 15. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-1-7-15
17. Липатов А.Г., Конюшевский А.В., Зудов А.А., Черепанов В.А., 2021. Комплексный анализ технического состояния мельничного оборудования обогатительной фабрики Стойленского ГОКа на основе компьютерного моделирования и неразрушающего контроля. *Горный журнал*, № 6, С. 65 – 71. DOI: 10.17580/gzh.2021.06.04
18. Dandotiya R., Lundberg J., 2012. Economic model for maintenance decision: a case study for mill liners. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, T. 18, №. 1, pp. 79 – 97.
19. Pilch R., 2017. Determination of preventive maintenance time for milling assemblies used in coal mills. *Journal of Machine Construction and Maintenance Problemy Eksploatacji*, no.1, pp. 81 – 86.
20. Липатов А.Г., Фурин В.О., Холодков А.А., Журавлёв А.Г., 2023. Инновационные решения в повышении эффективности крупного дробления железорудных горно-обогатительных комбинатах. *Горная промышленность*, № 3, С. 93 – 100. DOI 10.30686/1609-9192-2023-3-93-100

21. Shahin A., Pourjavad E., Shirouyehzad H., 2012. Selecting optimum maintenance strategy by analytic network process with a case study in the mining industry. *International Journal of Productivity and Quality Management*, T. 10, №. 4, pp. 464 – 483.

References

1. GOST 18322-2016. Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta tekhniki. Terminy i opredeleniya = Maintenance and repair system of engineering. Terms and definitions: mezh-gosudarstvennyi standart: izdanie ofitsial'noe: prinyat Mezhhgosudarstvennym sove-tom po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii (protokol ot 22 noyabrya 2016 g. № 93-P): data vvedeniya 1.09.2017. Razrabotan Federal'nym gosudarstvennym byudzhetnym uchrezhdeniem nauki Institutom sistem energetiki im. L.A. Melent'eva Sibirskogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk (ISEM SO RAN). Moscow: Standartinform, 2017, 16 p.

2. GOST R 27.102-2021. Nadezhnost' v tekhnike. Nadezhnost' ob"ekta. Terminy i opredeleniya = Dependability in technics. Dependability of item. Terms and definitions: data vvedeniya 01.01.2022: utverzhden 8.10.2021. Moscow: Rossiiskii institut standar-tizatsii, 2021, 40 p.

3. Zhuravlev A.G., Chendyrev M.A., Glebov I.A., Cherepanov V.A., 2020. Metodicheskii podkhod k razrabotke reglamentov tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta drobil'nogo oborudovaniya gornodobyvayushchikh predpriyatii [Methodical approach to the development of regulations for the maintenance and repair of crushing equipment of mining enterprises]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 3 – 1, P. 543 – 556. DOI: // 10.25018/0236-1493-2020-31-0-543-556

4. Andreeva L.I., Krasnikova T.I., Ushakov Yu.Yu., 2019. Metodologiya formirovaniya effektivnoi sistemy obespecheniya rabotosposobnosti gornoj tekhniki [Methodology for the formation of an effective system for ensuring the operability of mining equipment]. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal*, № 5, S. 92 – 106. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-5-92-106

5. Zhuravlev A.G., Cherepanov V.A., Chendyrev M.A. i dr., 2020. Nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdenie pri razrabotke reglamentov na tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont drobilok [Scientific and technical support in the development of regulations for the maintenance and repair of rock breakers]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 2(25), P. 50 – 59. DOI 10.25635/2313-1586.2020.02.050.

6. GOST R 53394-2009. Integrirovannaya logisticheskaya podderzhka. Osnovnye terminy i opredeleniya = Integrated Logistic Support. Terms and Definitions: utverzhden i vveden v deistvie prikazom Rosstandarta №395-st ot 14.09.2009: data vedeniya 01.07.2010. Moscow: Standartinform, 2010, 23 p.

7. GOST R 53394-2017. Integrirovannaya logisticheskaya podderzhka. Terminy i opredeleniya = Integrated Logistic Support. Terms and Definitions: utverzhden i vveden v deistvie prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii №109-st ot 10.03.2017: data vedeniya 01.07.2017. Moscow: Standartinform, 2018, 14 p.

8. Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya gornodobyvayushchikh predpriyatii chernoi metallurgii s otkrytym sposobom razrabotki . [Norms of technological design of mining enterprises of black metallurgy with an open method of development]. VNTP 13-1-86: utverzhdeny Ministerstvom chernoi metallurgii SSSR 11.03.86 № 10-187. GIPRORUDA; ruk. raboty S.B. Rubinshtein. Leningrad, 1986, 264 p.

9. Polozhenie o planovo-predupreditel'nykh remontakh oborudovaniya i transportnykh sredstv na predpriyatiyakh Ministerstva tsvetnoi metallurgii SSSR [Regulations on scheduled preventive repairs of equipment and vehicles at enterprises of the Ministry of Non-ferrous Metallurgy of the USSR]: utverzhdeno 06.10.1981. Ministerstvo tsvetnoi metallurgii SSSR. 2-e izd., pererab. i dop. Moscow: Nedra, 1984, 176 p.

10. Polozhenie o planovo-predupreditel'nykh remontakh (PPR) mekhanicheskogo oborudovaniya predpriyatii chernoi metallurgii SSSR [Regulation on scheduled preventive maintenance (SPM) of mechanical equipment of ferrous metallurgy enterprises of the USSR]. 2-e izd. Tula: VNIIOchermet, 1973, 371 p.

11. Andreeva L.I., 2021. Vybor strategii remontnogo obsluzhivaniya gornoj tekhniki [The choice of a strategy for the repair maintenance of mining equipment]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, № 4. – P. 83 – 91. DOI 10.21440/ 0536-1028-2021-4-83-91

12. Boiko P.F., 2017. Tekhnologicheskie metody povysheniya effektivnosti remonta i raboty drobil'no-izmel'chitel'nogo oborudovaniya [Technological methods for improving the efficiency of repair and operation of breacking and crushing equipment]: spetsial'nost' 05.02.08 "Tekhnologiya mashinostroeniya" ... dis. na soiskanie uchenoi stepeni doktora tekhnicheskikh nauk Starooskol'skii tekhnologicheskii institut im. A.A. Ugarova - (filial) Natsional'nogo issledovatel'skogo tekhnologicheskogo universiteta "MISiS". Moscow, 354 p.

13. Boiko P.F., Titievskii E.M., Timiryazev V.A., 2017. Tekhnologicheskie osobennosti ekspluatatsii, remonta, vosstanovleniya i modernizatsii konusnykh drobilok bol'shoi edinichnoi moshchnosti [Technological peculiarities of operation, repair, restoration and modernization of cone crushers of high unit capacity]. *Gornyi zhurnal*, № 4, P. 71 – 75. DOI 10.17580/gzh.2017.04.14

14. Boiko P.F., Timiriyaev V.A., Khostikoev M.Z., Danilov I.K., 2018. Primenenie mobil'nogo mnogotsелеvogo stanka dlya vosstanovleniya otverstii v krupnogabaritnykh detalyakh bez ikh demontazha [Use of a mobile multi-purpose machine to repair holes in large-sized parts without dismantling them]. *STIN*, № 11, P. 25 – 29.

15. Korotkov V.A., Lipatov A.G., Vesnin A.M., 2015. Innovatsionnye tekhnologii remontnogo vosstanovleniya i prodleniya sroka sluzhby detalei i uzlov gorno-obogatitel'nogo oborudovaniya . [Innovative technologies for the repair restoration and prolongation of the service life of parts and assemblies of mining and processing equipment]. *Gornyi zhurnal*, № 8, P. 83 – 87, DOI 10.17580/gzh.2015.08.17

16. Andreeva L., Abramov S., 2023. Methods of mining machine components reconditioning and hardening by means of concentrated energy fluxes. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, No. 1, P. 7 – 15. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-1-7-15.

17. Lipatov A.G., Konyushevskii A.V., Zudov A.A., Cherepanov V.A., 2021. Kompleksnyi analiz tekhnicheskogo sostoyaniya mel'nichnogo oborudovaniya obogatitel'noi fabriki Stoilenskogo GOKa na osnove komp'yuternogo modelirovaniya i nerazrushayushchego kontrolya [A comprehensive analysis of the technical condition of the mill equipment of the Stoilensky GOK processing plant based on computer modeling and non-destructive testing]. *Gornyi zhurnal*, № 6, P. 65 –71. DOI: 10.17580/ gzh.2021.06.04

18. Dandotiya R., Lundberg J., 2012. Economic model for maintenance decision: a case study for mill liners. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 18, №. 1, pp. 79 – 97.

19. Pilch R., 2017. Determination of preventive maintenance time for milling assemblies used in coal mills. *Journal of Machine Construction and Maintenance Problemy Eksploatacji*, no.1, pp. 81 – 86.

20. Lipatov A.G., Furin V.O., Kholodkov A.A., Zhuravlev A.G., 2023. Innovatsionnye resheniya v povyshenii effektivnosti krupnogo drobleniya zhelezorudnykh gorno-obogatitel'nykh kombinatakh [Innovative solutions to improve the efficiency of large-scale crushing of iron ore mining and processing plants]. *Gornaya promyshlennost'*, № 3, P. 93 - 100. DOI 10.30686/ 1609-9192-2023-3-93-100

21. Shahin A., Pourjavad E., Shirouyehzad H., 2012. Selecting optimum maintenance strategy by analytic network process with a case study in the mining industry. *International Journal of Productivity and Quality Management*, Vol. 10, №. 4, pp. 464 – 483.