

УДК 622.73:621.926

Журавлев Артем Геннадиевич

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

Черепанов Владимир Александрович

научный сотрудник,
начальник лаборатории
неразрушающего контроля,
Институт горного дела УрО РАН,
e-mail: transport@igduran.ru

Чендырев Михаил Андреевич

младший научный сотрудник,
лаборатория транспортных систем
карьеров и геотехники,
Институт горного дела УрО РАН

Глебов Игорь Андреевич

младший научный сотрудник,
лаборатория транспортных систем
карьеров и геотехники,
Институт горного дела УрО РАН

Семенкин Александр Владимирович

младший научный сотрудник,
лаборатория транспортных систем
карьеров и геотехники,
Институт горного дела УрО РАН

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ
РЕГЛАМЕНТОВ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ
ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ
ДРОБИЛОК***Аннотация:*

За последние несколько лет ИГД УрО РАН разработаны регламенты на систему технического обслуживания и ремонта конусных дробилок мелкого, среднего и крупного дробления, а также щековых дробилок с простым качанием щеки. Подготовка комплексных регламентов на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) на любой тип оборудования, учитывающих дифференциацию по условиям эксплуатации, отражающих структуру ремонтного цикла, обоснованную периодичность и объем по видам ТОиР, срок службы узлов и деталей, а также пооперационные типовые технологические карты выполнения ТОиР, является сложной задачей, требующей сбора и систематизации больших объемов статистических данных, а также учета множества факторов, влияющих на эксплуатационную надежность оборудования, требуемую периодичность и объем ремонтных работ. Такие регламенты разрабатываются для качественного и своевременного обслуживания дробилок, поддержания их в работоспособном состоянии и позволяют сни-

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.050

Zhuravlev Artem G.

Candidate of Technical Sciences,
Head of laboratory of Open Pit
Transport Systems and Geotechnics,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryak Str.
e-mail: juravlev@igduran.ru

Cherepanov Vladimir A.

Researcher,
Head of the Nondestructive
Testing Laboratory,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: transport@igduran.ru

Chendyrev Mikhail A.

Junior Researcher,
Laboratory of Open Pit Transport Systems
and Geotechnics,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

Glebov Igor A.

Junior Researcher,
Laboratory of Open Pit Transport Systems
and Geotechnics,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

Semyonkin Alexander V.

Junior Researcher,
Laboratory of Open Pit Transport Systems
and Geotechnics,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

**SCIENTIFIC AND TECHNICAL SUPPORT
AT THE DEVELOPMENT
OF REGULATIONS FOR MAINTENANCE
AND REPAIR OF CRUSHING ENGINES***Abstract:*

Over the past few years, Institute of Mining of the Ural Branch of RAS has developed regulations for the system of technical maintenance and repair of cone crushers of small, medium and large crushing, as well as jaw crushers with a simple cheek swing. Preparation of complex regulations for technical maintenance and repair (TMR) for any type of equipment, taking into account differentiation by operating conditions, reflecting the structure of the repair cycle, reasonable frequency and volume by type of TMR, the service life of components and parts, as well as operational standard technological maps of TMR performance, is a complex task that requires the collection and systematization of large amounts of statistical data. It also needs taking into account many factors that affect the operational reliability of equipment, the required frequency and volume of repair work. Such regulations are developed for high-quality and timely maintenance of crushers, for maintaining them in good operating condition, and they allow us to reduce TMR costs, to extend the service life of components and mechanisms, to improve the skills of repair per-

зять затраты на ТОиР, продлить срок службы узлов и механизмов, повысить квалификацию ремонтного персонала и спланировать расход запасных частей.

Каждый разработанный в ИГД УрО РАН регламент отражает конкретные параметры ремонтного цикла, конфигурацию системы технического обслуживания и ремонта и учитывает условия эксплуатации дробильного оборудования, в т.ч. свойства пород, применяемые при ремонтах запасные части и материалы (в т.ч. местного производства), режим работы оборудования и интенсивность его использования и др.

В статье приведены основные вопросы, возникшие при разработке таких регламентов на ТОиР, и выработанные методические подходы ИГД УрО РАН по их разработке. Изложены требования, предъявляемые к современным регламентам ТОиР горного оборудования, которые должны учитываться при их разработке.

Ключевые слова: регламент, планирование ремонтов, техническое обслуживание и ремонт оборудования, структура ремонтного цикла, срок службы, дробилка, щековая дробилка, конусная дробилка.

sonnel, and to plan the consumption of spare parts.

Each regulation developed by Institute of Mining of the Ural Branch of RAS reflects specific parameters of the repair cycle, configuration of the technical maintenance and repair system, and takes into account the operating conditions of crushing equipment, including the properties of rocks, the spare parts and materials used for repairs (in particular – locally produced), the operating mode of equipment and the intensity of its use, etc.

The article presents the main issues that arose during the development of such regulations for TMR and developed methodological approaches to their elaboration by the Institute of Mining of Ural branch of RAS. The requirements for modern TMR regulations for mining equipment, which should be taken into account when developing them, are described.

Keywords: regulations, repair planning, technical maintenance and repair of equipment, structure of the repair cycle, service life, crushing engine, jaw crusher, cone crusher.

Введение

Неотъемлемая часть качественного сопровождения жизненного цикла горного оборудования – наличие комплектов эксплуатационной документации, в том числе регламентирующей организацию ТОиР на эксплуатирующем предприятии. Если первое – традиционная прерогатива изготовителя оборудования, то второе существенно зависит от имеющейся ремонтной базы предприятия, эксплуатирующего данное оборудование, а также от горно-геологических, природно-климатических и горнотехнических факторов (условий работы и режимов эксплуатации).

Комплекс исследований ИГД УрО РАН, выполненных в рамках разработки регламентов технического обслуживания и ремонта дробилок производства ПАО «Уралмашзавод» [1], позволил изучить современное состояние по вопросам надежности дробилок крупного, среднего и мелкого дробления. Анализ надежности необходим для определения интервалов технического обслуживания [2, 3].

Достижение высокой эффективности ТОиР горного оборудования невозможно без своевременного и качественного выполнения работ. Важное значение приобретает разработка регламентов, применение которых в ремонтной службе позволяет регулировать наличие и эффективность использования материально-технических ресурсов и обеспечивать работоспособность машин [4, 5]. Преимущества использования технологических регламентов на ремонтное обслуживание и пути решения проблем при организации ремонтных процессов на предприятии с помощью их внедрения отражены, например, в работах [1, 6]. Несмотря на значительный объем научных знаний и практического опыта в области дробления руд, работа ИГД УрО РАН над регламентами [1] выявила ряд «пробелов» в существующей научно-методической базе, касающихся прикладного аспекта по следующим вопросам:

- нормирование ресурса узлов и деталей дробилок в конкретных условиях эксплуатации (несмотря на общность условий месторождений по свойствам пород, каждое из них уникально), в том числе методика перехода от базовых (стандартных) условий эксплуатации к фактическим;

- алгоритм построения и корректировки ремонтных циклов, видов и периодичности ремонтов (имеющиеся нормативы 1980-х годов по ряду причин устарели, при этом они отражают только заданные ранее ремонтные циклы, не раскрывая методику их построения и корректировки);

- неоднозначность расчета коэффициента технической готовности (КТГ) дробилок, приводящая к существенной разнице между разными оценками и в ряде случаев занижению реального КТГ;

Решением поставленных вопросов могут быть комплексные регламенты ТОиР, определяющие структуру ремонтного цикла, обоснованную периодичность и объем по видам ТОиР, срок службы узлов и деталей, а также пооперационные типовые технологические карты выполнения ТОиР [1].

Методы исследования

Анализ, обобщение, классификация, статистическая обработка данных, наблюдение (хронометраж, оценка трудоемкости ремонтных операций и др.).

Изложение рассматриваемых вопросов

Для формирования базы данных статистической информации о работе узлов дробилок производства ПАО «Уралмашзавод» были собраны данные на действующих горнодобывающих предприятиях: Ковдорский ГОК (г. Ковдор), Учалинский ГОК (г. Учалы), Северский карьер (г. Екатеринбург, п. Северка), Сибирский карьер (г. Екатеринбург), ОАО «Ураласбест» (г. Асбест), Михайловский ГОК (г. Железногорск), Лебединский ГОК (г. Губкин), Стойленский ГОК (г. Старый Оскол), Гайский ГОК (г. Гай), АО «Апатит» (г. Кировск), Магнитогорский металлургический комбинат (г. Магнитогорск), Качканарский ГОК (г. Качканар), АО «Карельский окатыш» (г. Костомукша), РУПП «Гранит (г. Микашевичи, Республика Беларусь), Южный ГОК, Центральный ГОК, Ингулецкий ГОК (г. Кривой Рог, Украина).

Для повышения эксплуатационной надежности дробилок необходим методический анализ тенденции отказов [7]. Исследования показателей наработки узлов и деталей конусных и щековых дробилок на горнодобывающих предприятиях, проведенные ИГД УрО РАН, позволили выявить основные факторы, влияющие на их эксплуатационную надежность и, соответственно, требуемую периодичность и объем ремонтных работ:

1) Крепость перерабатываемого материала. Высокая прочность вызывает значительные нагрузки в узлах трения (эксцентриковый узел, верхний подвес, зубчатое зацепление, подшипники приводного вала), повышенные нагрузки на корпусные детали, повышенный износ брони (чаще в виде трещин, местного сквозного износа).

2) Абразивность перерабатываемого материала характеризует способность горных пород изнашивать рабочие органы в процессе дробления (измельчения) при трении. В случае относительно непрочных, но высокоабразивных пород брони дробилки будут изнашиваться практически равномерно по толщине (при правильной загрузке дробилки), характер износа – истирание. Абразивность оценивают по износу материала, контактирующего с горной породой. Индекс абразивности (A_i) по Бонду – это коэффициент, который используется для расчета скорости износа металлической футеровки на дробилках и составляет: 0,024 г для известняка; 0,13 г для сульфидов тяжелых металлов; 0,15 г для медных руд; 0,16 г для гематита; 0,23 г для магнетита; 0,39 г для гранита; 0,74 – 0,77 г для железистых кварцитов и таконитов.

3) Влажность перерабатываемого материала влияет на «вязкость» горной массы. Повышенная влажность усложняет ее дробление, увеличивает потребляемую мощность, снижает производительность, увеличивает вероятность запрессовки камеры дробления.

4) Крупность кусков питания и степень дробления влияет на нагрузки в узлах и механизмах, а увеличение данных показателей ведет к повышению потребляемой мощности. Наличие большого количества кусков, близких к максимальной крупности питания, существенно увеличивает нагрузку на привод дробилки, коническую зубчатую передачу, элементы верхнего подвеса и эксцентрика.

5) Объем перерабатываемой горной массы, производительность напрямую влияют на износ и расход ресурса всех узлов дробилки. В связи с этим при достаточной статистике на конкретном предприятии срок службы броней может быть задан в количестве переработанной горной массы.

6) Попадание недробимого тела в зону дробления не допускается, поскольку создает ударные нагрузки и, как правило, вызывает повреждение элементов дробилки: броней и других элементов дробящего конуса, верхнего подвеса, броней и корпуса дробильной чаши, эксцентрикового узла, конической зубчатой передачи привода и приводного вала.

7) Качество, состояние и правильная настройка системы жидкой смазки. Отсутствие смазки либо ее неудовлетворительное состояние вызывает перегрев подшипников трения и выход их из строя.

8) Местные возможности, методы и качество ремонта. Заложенный ресурс дробилки и ее элементов достигается при правильном проведении ремонтов, наличии всего необходимого инструмента и оснастки, подготовленного ремонтного персонала, владеющего как общепромышленными методами ремонта, так и технологией технического обслуживания и ремонта дробилок.

9) Качество используемых при ремонте материалов и запасных частей. Использование некачественных запасных частей приводит к существенному повышению их расхода. Применение некачественных расходных материалов или материалов, не рекомендованных производителем, может приводить к неправильным режимам и условиям работы узлов, их повышенной коррозии, нагреву и, как следствие, ускоренному выходу из строя, нестабильной работе дробилки в целом.

Поскольку дробилки являются тяжелонагруженными машинами, требует особого внимания соблюдение правил монтажа, эксплуатации и технического обслуживания. В разрабатываемые Регламенты, кроме общепринятых приемов и средств монтажа, а также правил эксплуатации механического оборудования, включены основные наиболее характерные положения и указания в соответствии со следующими требованиями по безопасности, предъявляемыми к дробильному оборудованию:

- требования при проведении такелажных работ;
- требования к организации рабочего пространства оператора и ремонтного персонала;
- требования к инструменту и оснастке;
- требования при проведении электрогазосварочных работ;
- правила безопасности при работе с электрооборудованием;
- правила пожарной безопасности;
- требования промышленной безопасности при работе дробилок на опасных производственных объектах;
- правила безопасности при работе с гидравлическими системами и системами смазки.

Структура ремонтного цикла дробилок представляет собой последовательность видов технического обслуживания (ТО), текущих ремонтов (Т) и капитальных ремонтов (К), а также их периодичность и расчетную трудоемкость.

Виды ТОиР:

1. ЕТО – ежедневное техническое обслуживание (осмотры и контроль состояния дробилки).

2. ТО – техническое обслуживание (углубленный контроль состояния систем дробилки и регламентные работы без ее разборки).

3. Т1 – текущий ремонт первого уровня. Связан прежде всего с заменой броней дробящей зоны.

4. Т2 – текущий ремонт второго уровня. Включает в себя работы Т1 и ревизию основных узлов трения (эксцентрикковый узел, сферический подпятник, главный вал и т.п.). Для дробилок с разной интенсивностью износа броней Т2 также предполагает замену более долговечных броней (дробящих плит).

5. Т3 – текущий ремонт третьего уровня. Как правило, выполняется 1 раз в год, включает в себя работы Т2 и ремонт, связанный с ревизией всех основных узлов и систем дробилки, заменой деталей со сроком службы 1 год и более.

6. К – капитальный ремонт. Связан с полной ревизией и ремонтом всех элементов дробилки, в том числе станины.

Важным элементом разработки ремонтных циклов является обоснование периодичности и объема технического обслуживания и ремонтов по видам. Эта работа представляет собой полноценное исследование, которое охватывает:

- изучение сложившегося опыта ТОиР для данной модели (семейства) дробилок на горнодобывающих предприятиях;

- установление ресурса узлов и деталей дробилок до замены;

- установление наработки на отказ узлов и деталей дробилок;

- формирование «сетки» ТОиР (перечня необходимых ремонтных операций, развернутых во времени);

- преобразование «сетки» ТОиР в стандартизованные виды ремонтов, разработка необходимого перечня видов ТОиР;

- оптимизация периодичности и видов ТОиР в ремонтном цикле (учитывается недопущение как избыточного количества ремонтов, так и чрезмерно увеличенной их периодичности, приводящей к риску внеплановых поломок).

На рис. 1 и 2 приведены диаграммы периодичности и трудоемкости по видам ремонтов для разных условий эксплуатации и типов дробилок, производимых ПАО «Уралмашзавод». Эти нормы разработаны ИГД УрО РАН по результатам исследований на фактических данных о системах ТОиР в целом, а также о сроках службы узлов и деталей дробилок, полученных на действующих горнодобывающих предприятиях. Кроме этого для верификации статистической информации на ряде ГОКов проводились хронометражные замеры с фактической оценкой трудоемкости операций во время реальных ремонтных работ с наиболее характерными видами ремонтов для каждой группы дробилок. В поле статистического анализа включались данные за период 20 - 30 лет (в зависимости от наличия исходной информации) порядка 15 горнодобывающих предприятий. Результатом комплекса работ, выполненных ИГД УрО РАН, стали четыре Регламента на систему технического обслуживания и ремонта дробилок 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), разработанных для ПАО «Уралмашзавод».

Из рис.1 видно, что техническое обслуживание (вид ТОиР, связанный с обслуживанием, смазкой и регулировкой узлов и систем дробилок без их разборки) для всех дробилок целесообразно выполнять с одинаковой периодичностью (как правило, 1 раз в месяц). Исключение составляют случаи, когда периодичность замены броней сопоставима с периодичностью ТО – в этом случае оно совмещается с Т1. Ремонты Т3 связаны с комплексной ревизией всех узлов и систем. Надежность дробилок позволяет выполнять их в плановом порядке, а потому привязывать к сезонности. Наибольший разброс периодичности характерен для ремонтов Т2, что объясняется особенностями конструкции каждого типа дробилок и ресурсом наиболее изнашиваемых деталей.

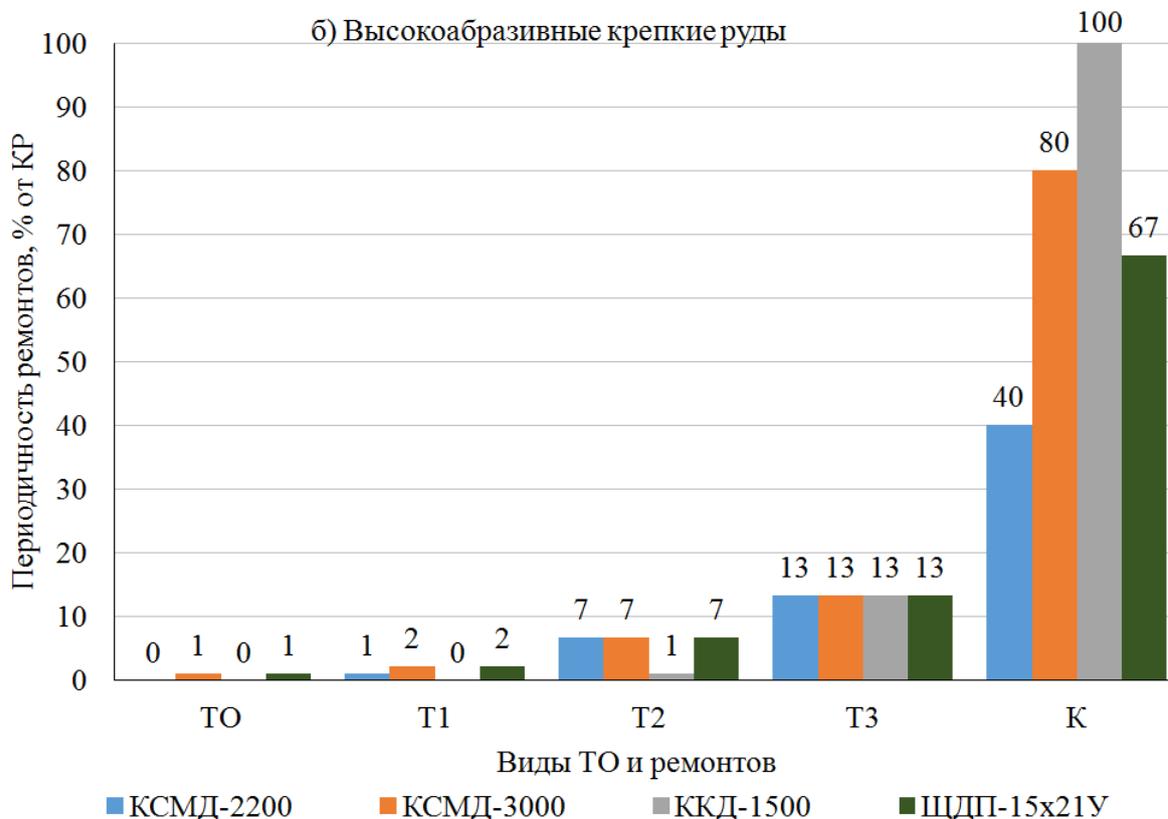
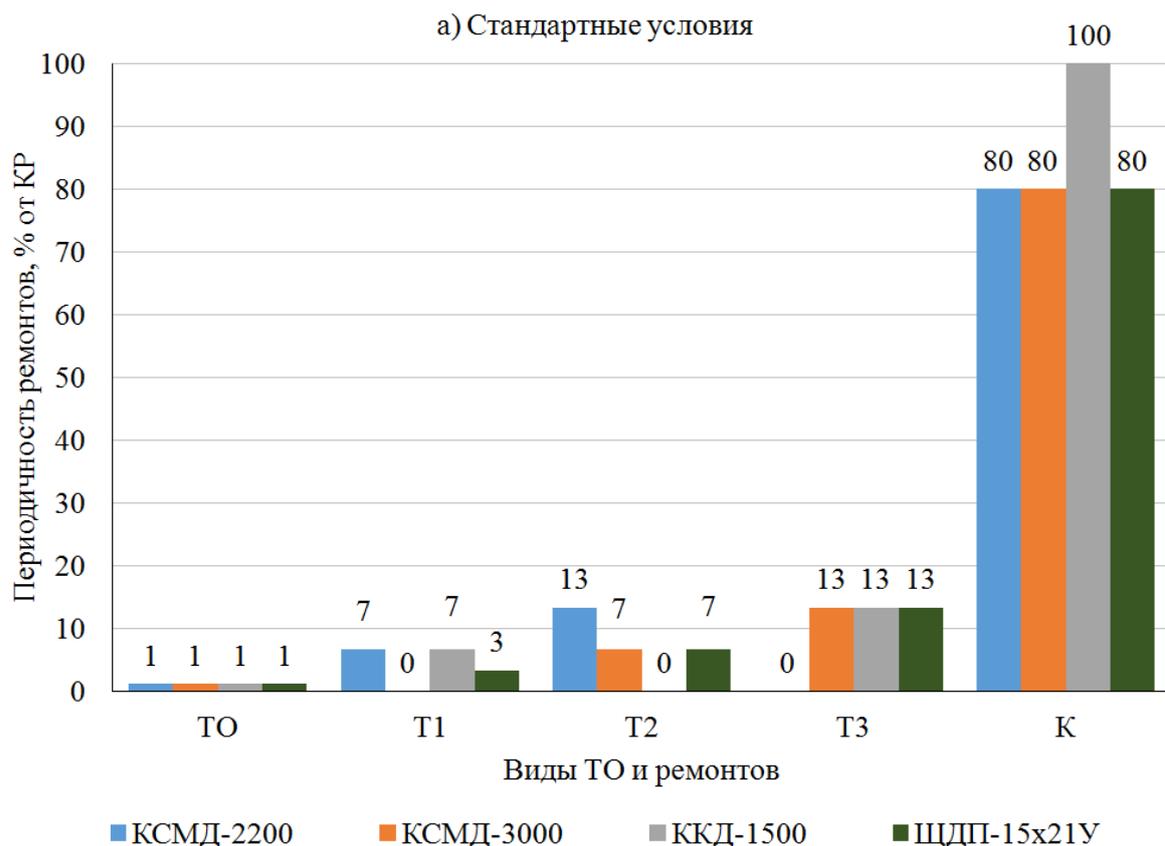


Рис. 1 – Соотношение нормированной периодичности ремонтов по видам для разных типов дробилок и условий эксплуатации:
 а) стандартные условия; б) высокоабразивные крепкие руды

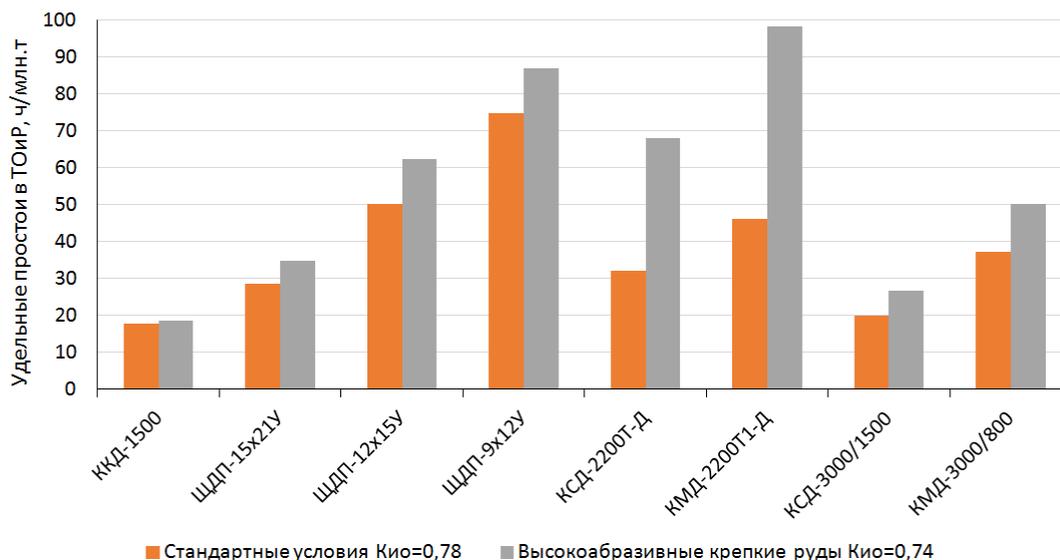


Рис. 2 – Удельные затраты времени на ТОиР в зависимости от условий эксплуатации дробилок

В зависимости от перерабатываемой руды удельные простои на ТОиР для одного и того же типа дробилок могут существенно различаться. При разработке высокоабразивных крепких руд они выше, чем при разработке менее прочных пород (см. рис. 2). Поэтому при работе над регламентами ТОиР 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, приведенная в работе [1]. Из множества реальных условий эксплуатации дробилок выделены две основные группы (табл. 1), наиболее характерные по условиям дробления пород: 1) Стандартные условия; 2) Высокоабразивные крепкие руды. Для некоторых дробилок в регламентах ТОиР добавлены промежуточные (дополнительные) группы условий (отражены на рис. 3).

Таблица 1

Характеристика условий дробления пород (на основе анализа свойств дробимых пород)

Характеристика дробимых пород	Стандартные условия	Высокоабразивные крепкие руды
Плотность в целике	2-3 т/м ³	до 4 т/м ³ ,
Насыпная плотность	2 т/м ³	до 2,5 т/м ³
Влажность	не выше 4%	
Абразивность (A _i) по Бонду	средняя (A _i не выше 0,4 г)	крайне высокая (A _i = 0,5-0,7 г и более)
Предел прочности пород при одноосном сжатии	100-110 МПа	Вар. I*: 140-170 МПа Вар. II*: 180-250 МПа
Крупность кусков питания	В пределах технической характеристики дробилки	
Попадание недробимых тел	не допускается, носит единичный характер	

* Вар. I – средние и легкие условия эксплуатации дробилок при разработке высокоабразивных крепких руд;

Вар. II – наиболее тяжелые условия эксплуатации высокофорсированных дробилок при разработке высокоабразивных крепких руд.

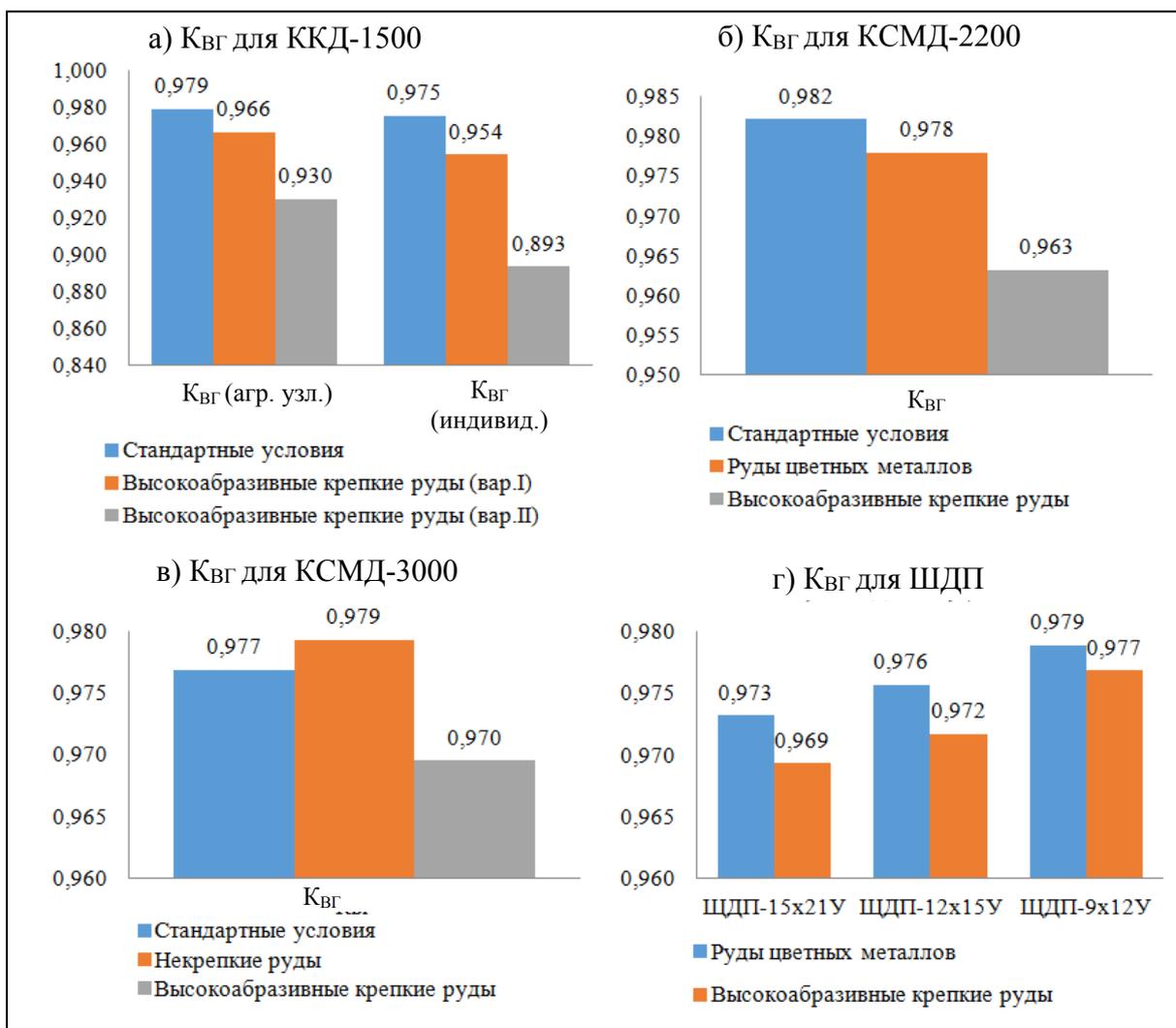


Рис. 3 – Соотношение нормированной периодичности ремонтов по видам для разных типов дробилок производства ПАО «Уралмашзавод»

К_{вг} – коэффициент внутренней готовности;

К_{вг} (агр.–узл.) – коэффициент внутренней готовности при агрегатно-узловом методе ремонта;

Вар. I – средние и легкие условия эксплуатации дробилок;

Вар. II – наиболее тяжелые условия эксплуатации высокофорсированных дробилок

В зависимости от условий изменяется не только периодичность, но также виды и последовательность ремонтов, что позволяет поддерживать работоспособность и производительность на высоком уровне при минимизации эксплуатационных затрат. В ходе работ над регламентами ТОиР установлено, что щековые дробилки с простым качанием щеки (ШДП) эксплуатируются в средних и особо тяжелых условиях, поэтому легкие условия эксплуатации для них не выделялись. Особенности конструкции и эксплуатации мощных конусных дробилок крупного дробления ККД-1500 позволяют им сохранять надежность в широком диапазоне условий при практически одинаковой периодичности и видах ремонтов. Поэтому для них также ремонтные циклы структурированы по двум видам условий эксплуатации: стандартные и особо тяжелые.

Одним из путей достижения высокой производительности дробилки может быть ее модернизация (форсирование) за счет ряда изменений в конструкции: повышения мощности привода, увеличения частоты качания дробящего конуса, изменения формы камер дробления, оптимизации распределения входного потока горной массы по камере дробления, внедрения гидропневматической системы прижатия опорного кольца и других систем и т.д. [8, 9]. Для таких дробилок особенно важно внедрение ре-

гламентов для обеспечения качественного и своевременного обслуживания новых узлов и механизмов.

На рис. 3 показаны коэффициенты внутренней готовности в зависимости от условий эксплуатации дробильного оборудования. Коэффициент внутренней готовности согласно ГОСТ 27.002 [10] определяется при проектировании для расчетных условий эксплуатации, технического обслуживания и ремонта и в данном виде отражает готовность непосредственно дробилок, без учета простоев любого другого смежного оборудования обогатительной фабрики или ГОКа, связанного с дробилкой, а также любые иные простои, в том числе организационного характера. Работа в наиболее тяжелых условиях значительно снижает коэффициент внутренней готовности.

Регламенты ТОиР выполняемые ИГД УрО РАН, могут выпускаться в следующих исполнениях:

- бумажный документ,
- электронный документ, по форме соответствующий стандартному бумажному и дополнительно снабженный интерактивными ссылками для удобного перехода между разделами и перемещения внутри типовых технологических карт;
- интерактивное пособие по ТОиР (электронная форма, воспроизводимая на ПК и мобильных устройствах, построенная по принципу разветвленного меню и последовательностей операций, с многочисленными внутренними ссылками);
- элемент цифровой платформы, базирующийся на информационном ядре, представляющем собой базу данных и оболочку пользовательского интерфейса (в простейшем случае – удобное интерактивное пособие с возможностью обновления базы данных, например, при выпуске новых модификаций оборудования, уточнении ремонтных нормативов или технологических карт ремонта, а при использовании всех функций – элемент цифровой платформы ТОиР оборудования, увязанный с централизованными базами данных, электронными журналами и т.п.).

Выводы

1. Разработка регламентов на ТОиР требует учета основных факторов, влияющих на эксплуатационную надежность оборудования, требуемую периодичность и объем ремонтных работ.

2. Регламенты ТОиР разрабатываются для качественного и своевременного обслуживания дробилок, поддержания их в работоспособном состоянии и отражают максимально возможный теоретический уровень их эксплуатационной готовности к работе в заданных условиях.

3. При реализации мероприятий, отраженных в разработанных регламентах ТОиР:

- снижаются затраты на ТОиР и продлевается срок службы узлов и механизмов;
- эксплуатация дробильного оборудования на горных предприятиях происходит с учетом научно-технической проработки структуры ремонтного цикла и основных операций по ТОиР;
- появляется возможность повышения квалификации ремонтного персонала на горных предприятиях;
- уточняется календарное планирование технического обслуживания и ремонта и планирование расхода запасных частей и материалов при эксплуатации дробилок.

4. Унифицированные регламенты ТОиР не могут отражать в полной мере все многообразие условий эксплуатации дробильного оборудования, в т.ч. свойства пород, применяемые при ремонтах запасные части и материалы (в т.ч. местного производства), режим работы оборудования и интенсивность его использования и др. Поэтому конкретные параметры ремонтного цикла, конфигурацию системы технического обслуживания и ремонта необходимо подстраивать для каждого конкретного предприятия или группы предприятий со схожими условиями.

Литература

1. Методический подход к разработке регламентов технического обслуживания и ремонта дробильного оборудования горнодобывающих предприятий / А. Г. Журавлев, М. А. Чендырев, И. А. Глебов, В. А. Черепанов. – DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-543-556 // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3-1. – С. 543-556.
2. Barabady Javad Reliability analysis of mining equipment: A case study of a crushing plant at Jajarm Bauxite Mine in Iran / Javad Barabady, Uday Kumar // Reliability Engineering & System Safety. – 2008. – Vol. 93. – Issue 4, April. – P. 647-653.
3. Sinha R.S. Reliability centered maintenance of cone crusher: a case study / R.S. Sinha, A.K. Mukhopadhyay // International Journal of System Assurance Engineering and Management. – 2015. – Vol. 6. – P. 32-35.
4. Андреева Л. И. Методология формирования эффективной системы обеспечения работоспособности горной техники / Л. И. Андреева, Т. И. Красникова, В. А. Лашманов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2018. – № 2. – С. 61 - 67.
5. Андреева Л. И. Оценка делового потенциала персонала ГДП / Л. И. Андреева, Я. В. Васильева // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности «Чтения памяти В. Р. Кубачека»: сборник трудов XVI Международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: УГГУ. – 2018. – С. 338-341.
6. Андреева Л. И. Повышение уровня стандартизации ремонтных процессов на примере АО «Ковдорский ГОК» / Л. И. Андреева, В. А. Лашманов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности «Чтения памяти В. Р. Кубачека»: сборник трудов XVI Международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: УГГУ. – 2018. – С. 342-345.
7. Sinha R. S. Failure rate analysis of Jaw Crusher: a case study / R.S. Sinha, A.K. Mukhopadhyay // Sādhanā. – 2019. – Vol. 44. – Article number: 17
8. Лагунова Ю. А. Конусные дробилки ПАО «Уралмашзавод» для конкретных условий эксплуатации / Ю. А. Лагунова, В. О. Фурин, К. А. Федулов // Горное оборудование и электромеханика. – №1 (135). – 2018. – С. 27-33.
9. Фурин В. О. Интеллектуальные конусные дробилки ПАО «Уралмашзавод» / В. О. Фурин, К. А. Федулов, Б. В. Турьянский // Горная промышленность. – №6 (130). – 2016. – С. 15-20.
10. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения. – М.: Стандартинформ. 2016. – 39 с.