

Литература

1. Орловский С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука. Глав. ред. физ-мат. лит., 1981. 208 с.
2. Оценка состояний химико-технологического процесса на основе индекса безопасности для цели диагностики и управления технологической безопасностью / Богатилов В. Н., Тоичкин Н. А. // Тр. ИСА РАН. Т. 28. М., 2006.

Оптимальное планирование межремонтных циклов агрегатов измельчения (на примере МФО АНОФ-2 ОАО «АПАТИТ»)

С. В. Охота¹, А. Г. Кулаков¹, А. Е. Пророков²

1. Кольский филиал ГОУ ВПО Петрозаводский государственный университет, Апатиты
2. ГОУ ВПО Новомосковский институт РХТУ им. Д. И. Менделеева, Новомосковск

Для защиты барабанов МШР-3,6 × 4,0 и МШР-4,5 × 5,0, входящих в комплексы измельчения мельнично-флотационного отделения в Апатитонефелиновой обогатительной фабрике (АНОФ-2), от изнашивающего и разрушающего воздействия шаров и измельчаемого материала в настоящее время применяются сменные футеровочные элементы: бронеплиты цилиндрической поверхности барабана, торцевая бронь, разгрузочная решетка и футеровка цапф — загрузочный патрубок и разгрузочная воронка.

При создании наиболее эффективной системы диагностики оборудования, входящего в комплекс измельчения, необходимо учитывать состояние защитной футеровки барабанов мельниц. Износ футеровки (в допустимых пределах) приводит к увеличению объема барабана мельницы, что, в свою очередь, влияет на производительность комплекса измельчения. Также диагностика необходима для своевременного вывода мельницы в ремонт и предотвращения аварийного износа защитной футеровки.

Ресурс (срок службы) защитной футеровки, как детали, наиболее полно влияющей на эксплуатационные показатели мельницы, безаварийность, безотказность работы всего комплекса измельчения служит определяющим параметром при формировании структуры ремонтного цикла агрегата измельчения.

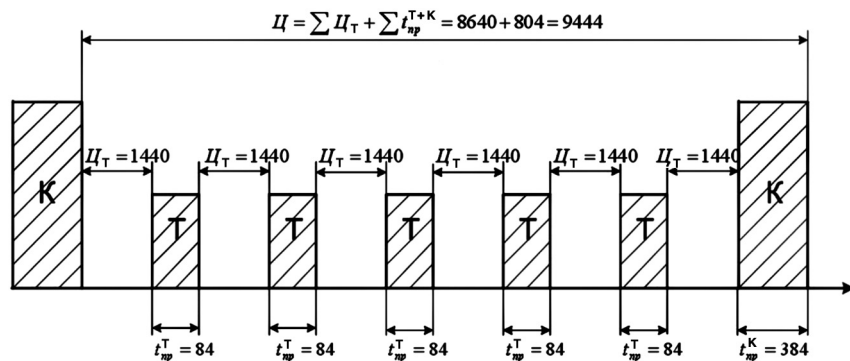


Рис. 1. Принятый ремонтный цикл для МШР 4,5 × 5,0

С экономической точки зрения наиболее целесообразным является вариант, при котором срок службы футеровки цилиндрической части барабана равнялся сроку службы торцевой футеровки, разгрузочной решетки. В этом случае перефутеровка всей мельницы производится одновременно, сокращаются трудозатраты и время простоя. В настоящее время на основе практических данных можно уверенно говорить, что торцевая бронь и решетка гарантированно выдерживает установленный ресурс в 8640 м/час, чего нельзя сказать о футеровке цилиндрической части барабанов МШР. Поэтому рассматриваемый ниже материал будет относиться в основном применительно к последней.

Для комплекса измельчения с МШР 4,5 × 5,0 принят следующий ремонтный цикл, включающий шесть межремонтных периодов, и пять текущих ремонтов (рис. 1).

Где: Π — ремонтный цикл, час;

Π_T — межремонтный период (пробег, периодичность ремонта), час;

$\sum \Pi_T$ — суммарный межремонтный пробег, м/час;

Т — текущий ремонт;

К — капитальный ремонт;

$t_{пр}^T$ — простой в текущем ремонте, час;

$t_{пр}^K$ — простой в капитальном ремонте, час;

$\sum t_{пр}^{T+K}$ — суммарный простой оборудования в ремонте, час.

Основным из нормативов ремонтного цикла является показатель $\sum \Pi_T = 8640$ м/час, определяющий требуемый нормативный межремонтный ресурс футеровки. Перепробег сложного машинного оборудования не разрешается.

В целях уточнения ремонтных нормативов должен вестись систематический учет фактического времени работы и простоя основного оборудования. По мере необходимости, представляются обоснованные предложения по применению данных нормативов. То есть допускается нормативы ремонтного цикла любого оборудования уточнять и пересматривать в зависимости от уровня организации ремонтного хозяйства, культуры эксплуатации, ухода и технического обслуживания, срока службы деталей и механизмов, изменения физико-механических, химических и других параметров перерабатываемого сырья, техники и технологии процессов и т. д. Причем как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

Для агрегатов мокрого измельчения, эксплуатируемых в условиях АНОФ-2, установлен норматив длительности межремонтного периода в 8640 м/час. Данный норматив не пересматривался уже более сорока лет. Хотя невозможно отрицать существенного изменения условий работы оборудования измельчения за этот период, повлиявшего в сторону уменьшения ресурса (срока службы) защитной футеровки. Это выясняется на основе приблизительного сравнительного анализа основных показателей износа защитной футеровки, что подтверждается последними практическими неудовлетворительными результатами эксплуатации оборудования, выразившимися в массовом выходе из строя защитной футеровки цилиндрических частей барабанов МШР 3,6 × 4,0 и, особенно, МШР 4,5 × 5,0 по достижении межремонтного пробега $\Pi_T = 7000$ м/час и более.

К числу показателей, существенно влияющих на интенсивность износа защитной футеровки горно-обогательного оборудования относятся:

- Свойства стали футеровок.
- Степень абразивного износа.
- Свойства стали и размеры мелющих тел.
- Профиль футеровки.
- Размеры барабана мельницы.
- Схема измельчения и классификации.
- Оптимальное пульповое наполнение.

Материал футеровки должен иметь высокую ударную вязкость, абразивную стойкость, стойкость под ударными нагрузками и постоянство свойств в процессе работы. Наиболее полно этим требованиям удовлетворяет высокомарганцевая сталь 110Г13Л, применяющаяся в качестве материала футеровок МШР ранее и по настоящее время. Надо отметить, что комплекс механических и эксплуатационных характеристик изделий из стали 110Г13Л в значительной степени зависит от содержания в ней примесей, тщательного соблюдения технологии литья, закалки и температурных режимов при этих операциях, модифицирования, легирования,

выбора рациональных конструкций литых деталей. К сожалению, за рассматриваемый период нельзя говорить о том, что в литейном производстве РМЗ ОАО «АПАТИТ», поставляющем большую часть защитной футеровки, произошли какие-либо изменения в части повышения износостойкости стали 110Г13Л. Поступающая продукция с РМЗ контролируется и выбраковывается визуально, без анализа содержания примесей и легирующих элементов, испытания на твердость.

Степень абразивного износа защитной футеровки находится в прямой зависимости от абразивности, крупности и крепости измельчаемого материала. За последние годы наблюдается тенденция снижения содержания полезных компонентов в исходной руде, вовлечение в производство трудно измельчаемых руд. Также существенным фактором, влияющим на износ футеровки, является процентное заполнение барабана мелющими телами и удельное соотношение типоразмеров шаров. Для апатитонефелиновых руд оптимальное шаровое наполнение мельниц составляет 48 %.

В значительной степени определяет срок службы футеровки ее профиль. В настоящее время применяется «волновой» (с одной волной) профиль с наибольшей толщиной по гребню для МШР 3,6 × 4,0–120 мм, для МШР 4,5 × 5,0–150 мм. Выбор и целесообразность применения той или иной профильной конструкции футеровки должен производиться с учетом типа, расхода и режимов работы измельчающей среды, физико-механических свойств размалываемого материала, производительности и эффективности работы мельницы, удельных расходов энергии, стоимости материалов и величины эксплуатационных расходов.

За последние годы существенно изменились факторы, определяющие условия работы агрегатов мокрого измельчения: внедрение барабанов новых типоразмеров, изменение физико-механических свойств перерабатываемой руды, изменение технологических параметров процесса измельчения и т. д.

Защитная футеровка барабанов мельниц подвергается большей степени износа и установленный межремонтный период (ресурс) в 8640 м/час не выдерживает. Снижение ресурса износостойкости защитной футеровки подтверждается количественными данными о замене футеровок при проведении ремонтов, при аварийных остановках в течение V–VI межремонтных циклов (т. е. после достижения мельницей пробега в 5760 м/час).

Можно сформулировать несколько рекомендации по изменению графика планово-предупредительного ремонта мельниц для оптимального использования бронеплит и выдерживанию времени межремонтных интервалов:

1. Не изменяя величину $\Sigma C_T = 8640$ м/час после достижения мельницей пробега ≈ 5500 м/час производить плановую замену I II поясов

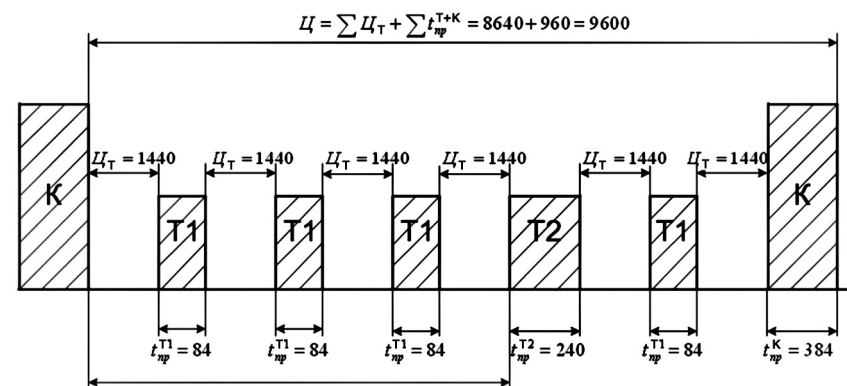


Рис. 2. Ремонтный цикл с увеличенным T2

малой и I пояса большой футеровки цилиндрической части барабана на месте установки, т. е. в структуру ремонтного цикла дополнительно ввести T2 с простоем ≈ 240 часов (рис. 2).

Данный вариант потребует количественного увеличения ремонтного персонала, задействованного на выполнении текущих ремонтов, и увеличит расход футеровки и время простоя в ремонте.

2. При формировании структуры ремонтного цикла уменьшить величину межремонтного периода на основании имеющегося и практически доказанного на сегодня срока службы (ресурса) защитной футеровки до $\Sigma C_T = 7200$ м/час и установить следующий ремонтный цикл (рис. 3).

Данный вариант потребует увеличение ремонтного персонала на капитальный ремонт (капитальный ремонт барабанов на стендах и на месте установки), увеличить расход футеровки (боковой). Также потребуется изменить нормативы простоя в ремонте на основании фактически достигнутых на настоящее время.

3. Применить для защиты цилиндрической части барабана бронь с равномерной толщиной металла, то есть структурой отличной от «волновой», имеющую на 10–15 % больший срок службы. Однако производительность мельниц с футеровками этих профилей ниже, чем с футеровками «волнового» профиля.
4. Диагностировать состояние защитной футеровки в процессе работы агрегата и останавливать мельницу при достижении оценки докритической величины. Данный метод диагностики (разработанный автором и представленный в [1–3]) позволяет сократить остановки

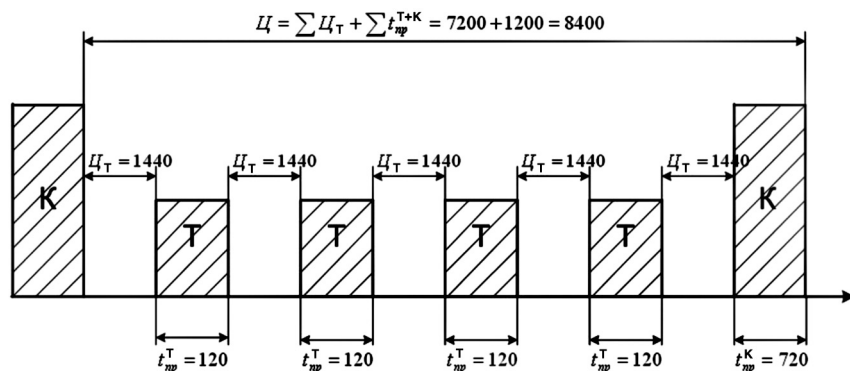


Рис. 3. Ремонтный цикл с 4 текущими ремонтами и одним капитальным

мельницы, за счет идентификации грядущих разрушений в процессе работы. Методика основана на модели обнаружения зарождающихся сигнатур в сигнале датчика шума агрегата измельчения, и разработана с использованием результатов, полученных в теории фазовых переходов статистической физики и критических явлений.

На рис. 4 представлен фильгрованный сигнал датчика шума для агрегата М18. На интервале в 812 дискретных отсчетов было идентифицировано 2 крупномасштабных кооперативных удара (соответствующие сигнатуры выделены прямоугольником). По результатам вычислительного эксперимента за час идентифицируется ≈ 150 сигнатур (порядок сглаживания 4). Сигнатура обладает свойством самоподобия, то есть она может идентифицироваться и на более малых масштабах. Данное событие

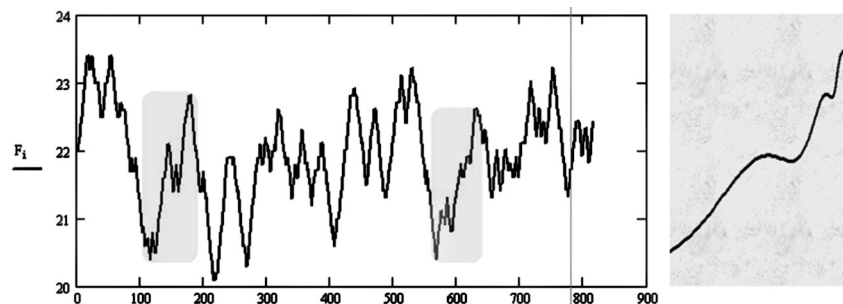


Рис. 4. Сигнал датчика шума агрегата М18 (слева) и функция-сигнатура (справа)

можно интерпретировать как равномерный износ защитного покрытия, связанный с незначительным кооперативным ударом.

Исходя из полученных результатов можно сформулировать следующий план ремонтного цикла. При заданных параметрах модели, для каждого агрегата и типа используемых в нем бронеплит, определить значение «критического количества ударов (N)», при котором заведомо не будет разрушена ни одна плита. Установить ремонтный цикл с 4 текущими и 1 капитальным ремонтом. Исходя из данных замен защитной футеровки первый пробег выдерживают большинство агрегатов, тем самым L_{T1} можно уверенно увеличить минимум до 2000 часов ($\approx 1,5$ раза) при этом контролируя показатель N для данной мельницы. Между ремонтными циклами ввести взвешенный пробег, уменьшая время межремонтного периода к концу по схеме $2000+1820+1740+1640+1440$ и контролируя на каждом интервале количество ударов. Показатель N зависит от номера пробега и для каждого интервала определяется испытательными запусками для данного типа мельницы и используемых в ней бронеплит.

Литература

1. Охота С. В. Междисциплинарный подход в построении систем диагностики технологического оборудования // II-ая Всероссийская научная конференция «Теория и практика системной динамики». Труды конференции. Апатиты, КНЦ РАН, 2007. С. 191–195.
2. Охота С. В. Использование подходов статистической физики для управления безопасностью химико-технологических систем // Вестник Костромского Государственного Университета им. Н. А. Некрасова. 2006. Т. 12. Вып. № 11. С. 16–19.
3. Охота С. В. Новые подходы в анализе состояний производственных систем // Труды ИСА РАН. М., 2006. С. 307–317.
4. Крюков Д. К. Футеровки шаровых мельниц. М.: Машиностроение, 1965.
5. Тарасенко А. А., Чижик Е. Ф., Взоров А. А. и др. Защитные футеровки и покрытия горно-обогатительного оборудования. М.: Недра, 1985.