

Разработка системы управления загрузкой мельницы вывода гали и скрапа обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК» на основе контроля вибрации подшипниковых узлов

М.Е. Тараненко

Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», г. Губкин, Россия

Аннотация: В статье рассматривается разработка автоматизированной системы управления загрузкой мельницы вывода гали и скрапа обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК» на основе измерения сигналов вибрации подшипников. Мельницы вывода гали и скрапа - это узкое место производства, снижение их производительности грозит потере производства двух цехов обогащения. Целью работы данной системы является ведение технологического процесса мельницы в режимах максимальной загрузки с отсутствием перегрузов. Предлагаемая в статье автоматизированная система управления шаровой мельницей позволит повысить производительность мельницы, уменьшить удельный расход электроэнергии, снизить время аварийных простоев.

Ключевые слова: производство железорудного концентрата, обогатительная фабрика, мельница шаровая, защита мельницы от перегруза, автоматизированная система контроля вибрации подшипников, автоматизированная система управления технологическим процессом.

Введение

Одним из важнейших процессов обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК» является работа девятой технологической секции - удаление из технологии и измельчение избытка трудноизмельчаемых фракций рудной гали и скрапа.

Участок шаровых мельниц МШРГУ-4500х6000 №9-5, №9-6 обогатительной фабрики (девятой технологической секции) - является узким местом производства, а снижения его производительности приводит к потере производства двух цехов обогащения (ЦО-1, ЦО-2). Поэтому проблема оптимизации процесса измельчения девятой технологической секции ОФ ЛГОКа, в частности, максимизации производительности, имеет существенное экономическое и практическое значение.

Анализ опыта отечественных и зарубежных авторов показывает, что задача повышения производительности и минимизации удельных энергозатрат шаровой мельницы – не нова, варианты решения подобных задач рассматриваются в работах:

В работах [1, 2] достаточно подробно рассматриваются конструктивные, технические особенности, режимы работы шаровых мельниц, причины перегрузов мельниц, а также методологическая основа построения систем контроля и управления шаровыми мельницами.

В работах [3, 4] рассмотрены варианты использования виброакустического анализатора загрузки ВАЗМ для построения систем контроля объемного заполнения мельниц. Сигнал объемного заполнения мельниц ВАЗМ формируется на основе измерения и частотного анализа трех сигналов: вибрация, шум, активная мощность привода мельницы. ВАЗМ используют, как дополнительный информационный критерий контроля и предупреждения наступления перегруза мельниц. Недостатком данного подхода является сложность настройки прибора.

В работе [5] предложен вариант использования датчиков вибрации, установленных на вращающемся корпусе барабана мельницы, с передачей информации с датчиков по беспроводному радиочастотному модему. Данный вариант построения системы управления предусматривает использование сигнала вибрации в частотной области, осложняется необходимостью использования аккумуляторных батарей для питания датчиков вибрации, так как возможность прямого подключения питания к датчикам, установленным на вращающемся барабане – отсутствует.

В работе [6] предложен вариант использования датчиков вибрации для трубной двухкамерной цементной мельницы, измельчающими телами которой являются не шары, а цельбепс – цилиндрики, у которых рабочая поверхность больше, с целью более тонкого помола. Рассмотрен вариант

системы управления мельницей с использованием индивидуальных особенностей цементного производства.

В работе [7] предложен вариант использования датчиков вибрации для мельницы мокрого измельчения руды на горно-обогатительном предприятии, с отсутствием мелющих тел. Амплитуда вибрации подшипников мельницы используется, как дополнительный информационный параметр для существующего многопараметрического алгоритма защиты мельницы от перегруза в условиях технологии самоизмельчения.

В работе [8] предлагается подход разработки экспертной системы управления объектом мельница - гидроциклон с использованием нечеткой логики.

В работе [9] предлагается интеллектуальная, нейросетевая система выбора задающих воздействий для системы управления мельницей на основе нечеткого регулирующего устройства.

В работе [10], с целью анализа перегруза мельницы, предлагается использовать систему управления на основе экстремального регулирования с использованием наблюдающего устройства переменных состояний объекта.

Работы [8 - 10] несомненно, используют современные подходы к управлению технологическими объектами, но на производстве - труднореализуемы, ввиду сложности и многофакторности данных систем, отсутствия на предприятиях специалистов-экспертов в данных областях.

Описание объекта управления - мельница шаровая рудно-галечная МШРГУ 4500x6000

Измельчение рудной гали и скрапа, выведенных из цехов обогащения №1 и №2 обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК» происходит в мельницах МШРГУ-4500x6000.

По конструкции мельница МШРГУ-4500х6000 представляет собой шаровую мельницу с разгрузкой через решетку.

Технологический процесс измельчения гали и скрапа представляет собой разовое измельчение в мельнице без рецикла, где трудноизмельчаемый материал (галя и скрап) измельчается шарами диаметром 150 мм до требуемого грансостава на выходе. Производительность мельницы МШРГУ-4500х6000 по входному сырью составляет 150-250 т/ч.

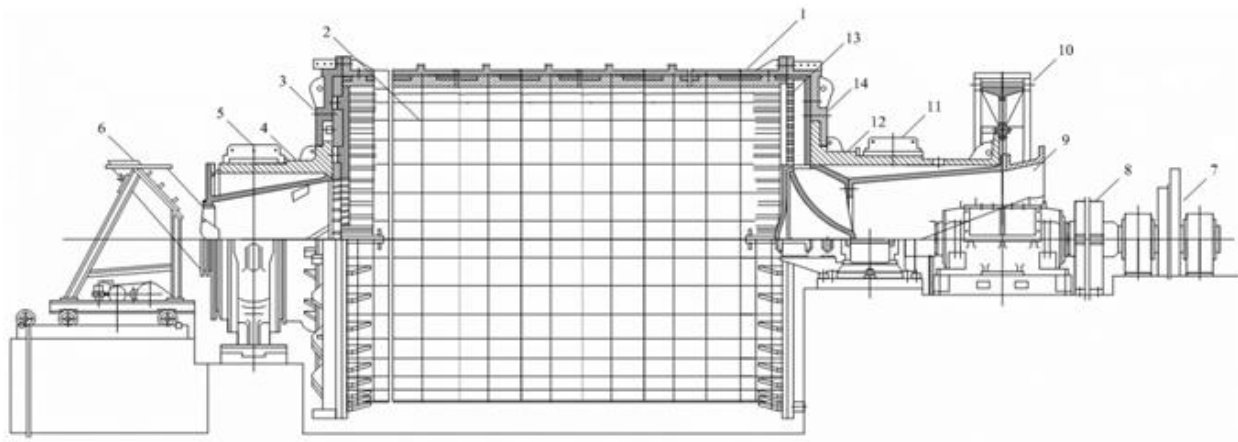


Рис. 1. - Мельница шаровая рудно-галечная МШРГУ-4500х6000:
1 - барабан; 2 - броневые плиты и лифтеры; 3 - торцевая крышка передняя;
4 - цапфа передняя; 5 - подшипник передний; 6 - устройство загрузочное;
7 - электродвигатель; 8 - муфта зубчатая; 9 - устройство разгрузочное;
10 - венец зубчатый; 11 - подшипник задний; 12 - цапфа задняя; 13 - решетка;
14 - торцевая крышка задняя

Мельница шаровая рудно-галечная МШРГУ-4500х6000 представлена на рисунке 1.

Мельница шаровая рудно-галечная МШРГУ-4500х6000 представляет собой единую механическую конструкцию, установленную на передний и задний подшипники 5 и 11, включающую следующие элементы: барабан 1, передняя и задняя торцевые крышки 3 и 14, передняя и задняя цапфы 4 и 12.

Вращение барабана осуществляется электродвигателем 7 через зубчатую муфту 8, приводную шестерню и установленный на задней цапфе зубчатый венец 10.

Барабан мельницы футеруется лифтерами и броневыми плитами 2. Броневые плиты футеровки барабана крепятся болтовым способом. Торцевые стенки барабана футеруются броневыми плитами в два ряда.

Лифтеры - элементы футеровки для защиты барабана или загрузочной (разгрузочной) стенки мельницы от механического воздействия мелющих тел и материалов измельчения, положительно влияет на результативность измельчения. Лифтеры и броневые плиты сопрягаются за счет наклонных скосов.

Для ведения технологического режима с низким уровнем пульпы в мельнице, в конструкции мельницы используются разгрузочная решетка 13 и разгрузочные лифтеры с целью принудительной разгрузки измельчительного агрегата. В зоне разгрузки барабана мельницы установлена разгрузочная решетка 13, с отверстиями диаметром 20мм, в исполнении конструкции с увеличением диаметров отверстий к разгрузке. Решетка крепится к барабану болтовым способом. Пространство между разгрузочной решеткой 13 и задней торцевой крышкой 14 разделено на секторные камеры лифтерами, с возможностью вывода измельчаемого материала в заднюю цапфу 12 и далее, в разгрузочное устройство 9.

Загрузка рудной гали и скрапа в мельницу осуществляется через специальный патрубок - загрузочное устройство 6.

Для интенсификации подачи в мельницу гали и скрапа, в передней цапфе 4 установлена загрузочная спиральная втулка. Для возврата пульпы из уплотнений мельницы, в задней цапфе 12 установлено специальное спиральное устройство.

Так как рудная галя и скрап, выводимые из цехов обогащения ЦО-1 и ЦО-2, являются трудноизмельчаемым материалом, имеющим высокий удельный вес, дающим повышенную нагрузку на агрегат, поэтому, в условиях обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК», на шаровых

мельницах МШРГУ-4500х6000 установлены электродвигатели с повышенной мощностью 2500 кВт [1, 2].

Описание технологии девятой технологической секции обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК»

По технологии девятой технологической секции измельчение осуществляется в двух шаровых мельницах МШРГУ-4500х6000 рисунке 2.

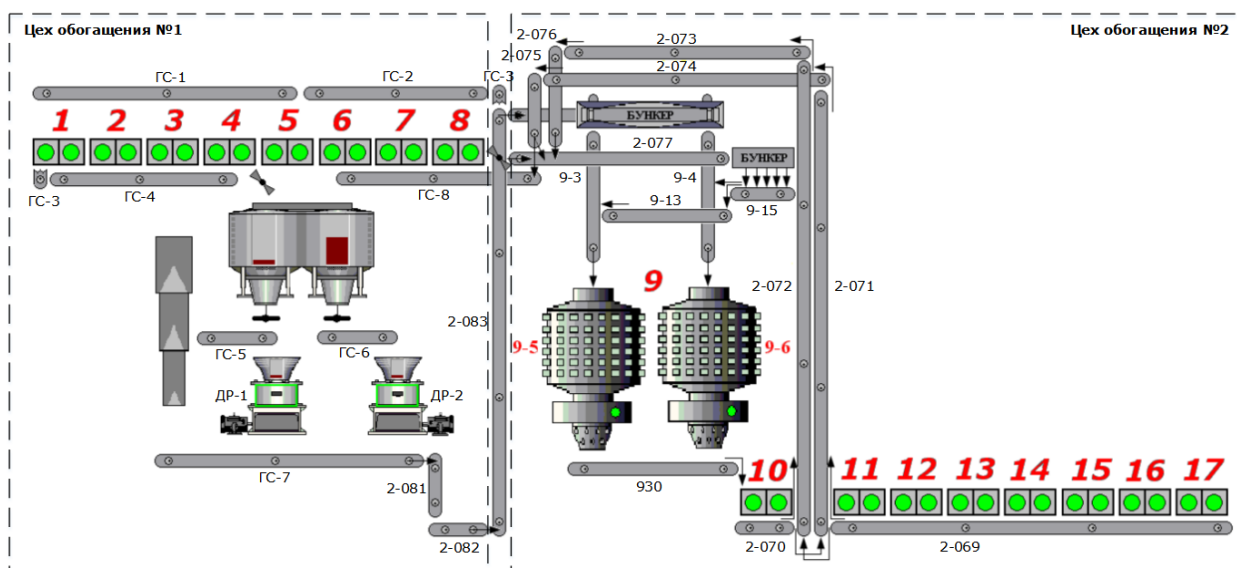


Рис. 2. - Технологическая схема мельниц МШРГУ-4500х6000 №9-5, №9-6

Питание мельниц осуществляется из бункеров трудноизмельчаемого продукта (как измельченного, так и неизмельченного ЦО-1, ЦО-2). Подача сырья в мельницы МШРГУ-4500х6000 №9-5 и №9-6 производится конвейерным транспортом 9-15, 9-3, 9-13 и 9-4.

В разгрузке шаровых мельниц установлены бутары для вывода из процесса скрапа и отработанных шаров, которые посредством ленточных конвейеров №930, 2-070, 2-077 направляются на доработку. В зависимости от уровня заполнения бункеров рудной гальей и скрапом, может работать одна или две мельницы технологической секции.

Скрап мельниц №9-5 и №9-6, отделенный на бутаре, циркулирует через бункер недробленого продукта по системе конвейеров недробленого продукта ЦО-2.

Слив мельниц №9-5, №9-6 поступает в зумпф насосов Гр 1600/50 №9-41, №9-42, откуда продукт направляется в гидроциклоны первой стадии на классификацию. Пески гидроциклонов по желобу самотеком возвращаются для повторного измельчения в мельницы МШРГУ-4500х6000 [1, 2].

Режимы ведения технологического процесса шаровой мельницы, проблема перегруза

Эффективность и энергоэффективность шаровой мельницы зависит от режима управления мельницей по загрузке измельчаемым материалом.

1. Режим низкой загрузки мельницы. В данном режиме движение мелющих тел (шаров) и измельчаемой рудной массы в барабане мельницы имеет каскадно-водопадный (смешанный) характер. Режим недогруза является не эффективным: наблюдается низкая производительность мельницы по железорудному концентрату регламентированной крупности и высокий удельный расход электроэнергии на измельчение.

2. Предперегрузочный режим загрузки мельницы. В данном режиме движение мелющих тел (шаров) и измельчаемой рудной массы в барабане мельницы имеет исключительно водопадный характер, т.е. данный режим характерен наибольшей траекторией падения измельчающей шаровой среды и измельчаемой рудной массы. Предперегрузочный режим является наиболее энергоэффективным: наблюдается максимально-высокая производительность мельницы по железорудному концентрату регламентированной крупности, т.к. затрачиваемая энергия на измельчение максимальна и при этом удельный расход электроэнергии на измельчение минимален.

3. Режим перегруза мельницы. В данном режиме мелющие тела (шары) и измельчаемая рудная масса под действием сил трения и центробежных сил налипают по всей внутренней поверхности барабана мельницы, т.е. режим имеет центрифужный характер. Затрачиваемая энергия на измельчение минимальна, шары перестают соударяться с измельчаемой рудной средой, производительность мельницы минимальна, даже малейшая дополнительная подача руды в мельницу ведет к переполнению барабана мельницы и аварийной остановке мельницы. Перегруз мельницы недопустим, так как требуется много времени на ручное опустошение барабана мельницы (очень трудозатратный процесс), существует высокий риск поломки дорогостоящего мельничного оборудования, возможны длительные аварийные простои на ремонт измельчительного агрегата.

Цель энергоэффективного управления шаровой мельницей

Целью энергоэффективного управления шаровой мельницей является: ведение технологического процесса в предперегрузочном состоянии, так как в данном режиме обеспечивается максимальная производительность мельницы по железорудному концентрату регламентированной крупности, удельный расход электроэнергии минимален.

Поддержание оптимального предперегрузочного режима мельницы (40-45 % от полного заполнения) – сложная и актуальная задача, решение её затруднено следующими факторами:

- шаровая мельница подвержена влиянию внешних, постоянно-меняющихся возмущающих факторов (изменчивость крупности и измельчаемости материала на входе, износ брони футеровки, количество меняющейся шаровой нагрузки);

- значение внутримельничного заполнения мельницы можно оценить только косвенными методами, возможность непосредственно прямого измерения - отсутствует;

- качество ведения технологического процесса зависит от опыта оператора технолога и опыта инженера-наладчика технических средств АСУТП.

Задача поддержания оптимальной внутримельничной нагрузки и защита от перегруза шаровой мельницы не нова, существует множество различных отечественных и зарубежных разработок в данной области. Опыт отечественных обогатительных фабрик показывает, что успешная реализация существующих решений имеет разовый (индивидуальный) характер с отсутствием возможности создания шаблонного решения для тиражирования на другие (любые) мельницы без длительной настройки и апробации на конкретной технологии.

Вибро-акустический анализатор загрузки ВАЗМ - является самым распространенным существующим решением оценки перегрузочных состояний шаровых мельниц [3, 4]. Но в практике отечественных предприятий не распространено применение информации о степени загрузки мельницы с анализатора ВАЗМ для реализации автоматических подсистем регулирования загрузкой мельниц ввиду сложности настройки прибора. Как правило, анализатор ВАЗМ используют, как дополнительный информационный критерий контроля и предупреждения наступления перегруза мельницы.

**Разработка автоматизированной системы управления загрузкой
мельницы вывода гали и скрапа обогатительной фабрики
АО «Лебединский ГОК» на основе измерения вибрации подшипников
мельницы**

Мониторинг вибрации промышленных объектов является одним из важнейших условий безостановочной и безопасной работы оборудования. Основными объектами контроля являются электромоторы, воздуходувки, насосные агрегаты, компрессоры, турбины, мельницы и другое критическое оборудование, от функционирования которого зависит производственный процесс.

Известно, что сигнал амплитуд вибраций подшипниковых узлов шаровой мельницы непосредственно коррелирует с величиной уровня загрузки мельницы материалом (в данном случае рудной галью и скрапом), поэтому, для шаровых мельниц, метод измерения загрузки мельницы на основе измерения вибрации подшипников мельницы является ключевым способом повышения производительности измельчительных агрегатов, снижения удельного расхода электроэнергии на передел [5 - 7].

В качестве прибора измерения вибрации выбран пьезоэлектрический датчик, который устанавливается на корпус подшипникового узла мельницы вертикально на шпильке.

Критерием косвенной оценки величины внутримельничной загрузки мельницы будет являться выходной сигнал виброускорения пьезоэлектрического акселерометра.

Величины интенсивности амплитуд вибраций подшипниковых узлов шаровой мельницы и величина уровня загрузки шаровой мельницы рудной галью и скрапом являются обратно пропорциональными величинами.

В зависимости от уровня загрузки шаровой мельницы рудной галью и скрапом, а также измельчающей средой (шарами) изменяются амплитуды колебаний вибрации в подшипниках, т.е. по мере увеличения уровня загрузки мельницы измельчаемой средой (рудной галью и скрапом) сигналы амплитуд вибраций подшипников будут снижаться, соответственно по мере уровня

снижения загрузки мельницы амплитуды вибраций в подшипниках будут увеличиваться.

Экспериментальные исследования в разработке и отладке системы автоматического контроля вибрации подшипников мельниц МШРГУ-4500х6000 в условиях девятой технологической секции обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК» позволили выявить и оценить достаточно точную обратно пропорциональную закономерность между переходными характеристиками амплитуд колебаний вибрации в подшипниках мельницы и уровня внутримельничного заполнения мельницы измельчаемым материалом.

В качестве измерительного прибора системы автоматического контроля вибрации подшипников мельниц МШРГУ-4500х6000 в условиях девятой технологической секции обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК» выбран вибропреобразователь 645B01 - РСВ Piezotronics (диапазон измерения виброускорения: 0,0 - 49 м/с²; диапазон частот: 3 - 5000 Гц; выходной сигнал 4 – 20мА).

В работе проведены исследования с целью определения наиболее информационного диапазона величины виброускорения с датчика (вибропреобразователя) РСВ серии 645 в различных режимах работы шаровой мельницы МШРГУ-4500х6000:

- исследованы спектральные характеристики сигналов виброускорений с двух аналогичных датчиков, установленных на подшипниках с загрузочной и разгрузочных сторон мельницы.

- изначально, для калибровки системы, сбор данных производился с 24-х часовой продолжительностью по времени в чередовании режимов низкого и высокого уровней заполнения мельницы (регулировка входной нагрузки задавалась оператором в течении 24-х часов в ручном режиме).

Анализ спектральных характеристик сигналов виброускорений с датчиков, позволил выявить, что:

- наибольшая информативность сигнала с вибропреобразователя РСВ серии 645 сконцентрирована в частотном диапазоне 1500-3000 Гц.

- амплитуда сигнала виброускорения на подшипнике со стороны загрузки мельницы в два раза выше чем на подшипнике со стороны разгрузки, соответственно на переднем подшипнике чувствительность сигнала к изменению внутримельничного заполнения мельницы в два раза выше.

Методология косвенного определения динамики изменения уровня заполнения шаровой мельницы МШРГУ-4500х6000 рудной галью и скрапом, в данном случае, предполагает амплитудный контроль сигнала виброускорения с вибропреобразователя РСВ серии 645.

Анализ переходных характеристик виброускорений с вибропреобразователя РСВ серии 645, показал:

- наибольшая амплитуда сигнала виброускорения с датчика соответствует режиму, когда мельница пуста (рудная галья и скрап полностью отсутствуют), так как траектории падений и сила ударов о футеровку шаров в мельнице будет максимальной;

- при заполнении мельницы измельчаемой средой (рудная галья и скрап) амплитуда сигнала виброускорения с датчика уменьшается.

Соответственно, для ведения технологического процесса мельнице в наиболее эффективном режиме (максимальная производительность, минимальный удельный расход электроэнергии), необходимо автоматизировать процесс загрузки мельницы с целью поддержания уровня сигнала виброускорения с вибропреобразователя в экспериментально установленных пределах.

Структура разработанной автоматизированной системы управления технологическим процессом АСУТП шаровой мельницы МШРГУ-4500х6000 для эффективного ведения процесса и автоматической защиты от перегруза приведена на рисунке 3.

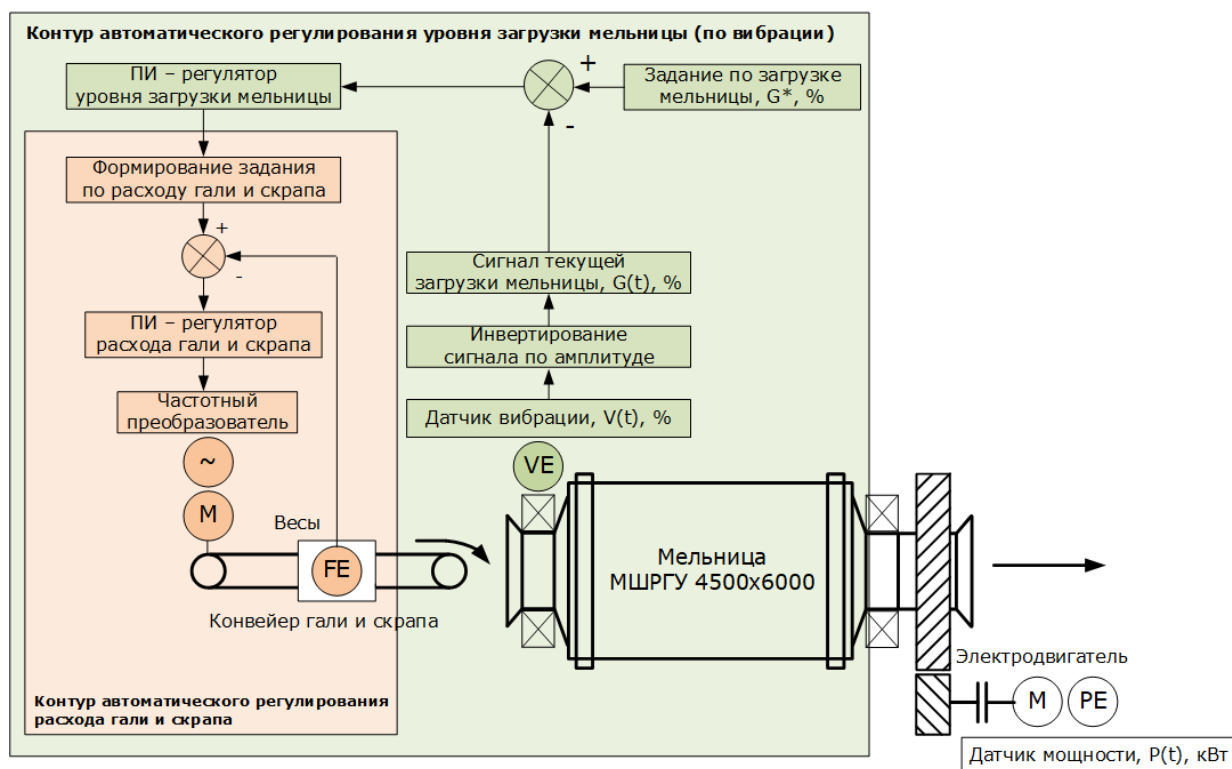


Рис. 3. - Структура автоматизированной системы управления технологическим процессом шаровой мельницы МШРГУ-4500х6000: VE - датчик вибрации; FE - датчик расхода; PE - датчик мощности; М - электродвигатель; ~ - преобразователь частоты.

Формализован критерий определения предперегрузочного состояния шаровой мельницы с использованием сигнала виброускорения с вибропреобразователя с переднего подшипника мельницы.

С целью получения переходной характеристики изменения динамики уровня загрузки мельницы $G(t)$, %, используем инвертирование сигнала вибрации переднего подшипника $V(t)$, % по амплитуде, так как сигнал вибрации переднего подшипника и уровень загрузки мельницы обратно пропорциональные величины.

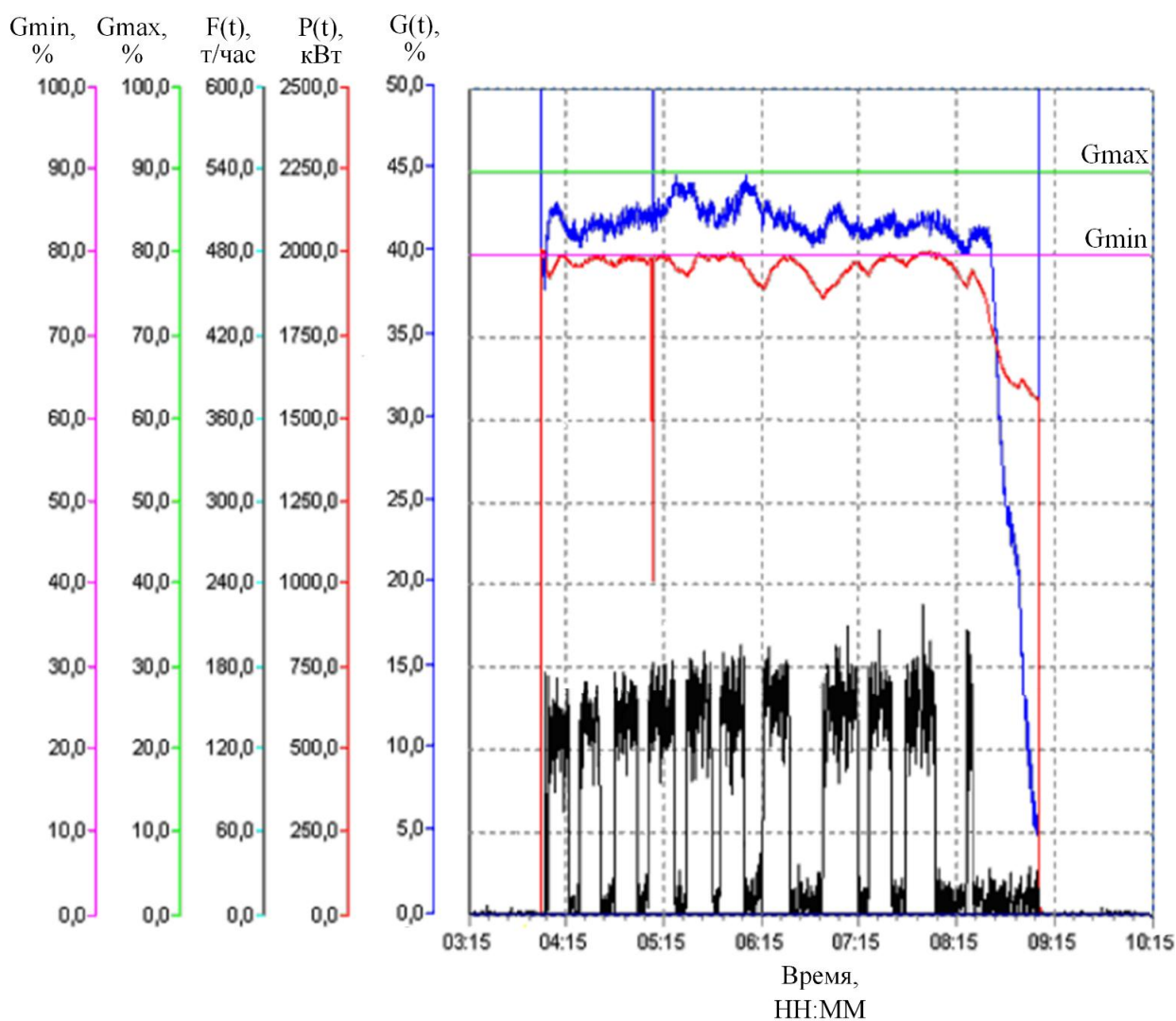


Рис. 4. - Динамика переходных характеристик сигналов шаровой мельницы МШРГУ-4500х6000 в предперегрузочном режиме: уровень загрузки мельницы $G(t)$, % по вибрации; активная мощность электродвигателя мельницы $P(t)$, кВт; мгновенный расход гали и скрапа в мельницу (конвейерные весы на конвейерах 9-3, 9-4) $F(t)$, т/час; нижний предел эффективной работы мельницы G_{min} , %; верхний предел эффективной работы мельницы G_{max} , % (критерий защиты мельницы от перегруза)

Используя информацию о динамике уровня загрузки мельницы $G(t)$ по вибрации, экспериментально найден диапазон наиболее энергоэффективной работы мельницы (амплитуда вибрации 20-10 % соответствует реальному объемному заполнению мельницы 40-45 %), найден предел по максимальному уровню загрузки мельницы $G(t)$ (амплитуда вибрации 10 %

соответствует максимально-допустимому реальному объемному заполнению мельницы 45 %), при превышении которого шаровая мельница МШРГУ-4500х6000 входит в перегруз (рисунок 4).

На рисунке 4 можно наблюдать две ситуации, когда мельница МШРГУ-4500х6000 чуть не вошла в режим перегруза, данный режим чреват длительными аварийными простоями, так и к выходу из строя основного оборудования мельницы: динамика изменения уровня загрузки мельницы $G(t)$, % по вибрации; динамика изменения активной мощности электродвигателя мельницы $P(t)$, кВт; динамика мгновенного расхода гали и скрапа в мельницу (конвейерные весы на конвейерах 9-3, 9-4) $F(t)$, т/час; нижний предел эффективной работы мельницы G_{min} , %; верхний предел эффективной работы мельницы G_{max} , % (критерий защиты мельницы от перегруза).

Максимальное значение сигнала загрузки мельницы $G(t)$ по объему 45 % (по времени ориентировочно в 5:30 и 6:00) и соответствует максимально допустимому значению уровня загрузки мельницы, как показано на рисунке 4, ситуация сопровождалась остановкой загрузочного конвейера гали и скрапа (9-3, 9-4) в автоматическом режиме с последующим выводом мельницы МШР-ГУ-4500х6000 на регламентный и эффективный режим работы.

Проведенные научные исследования

1. Проведены исследования по изучению технологии измельчения рудной гали и скрапа в мельницах МШРГУ-4500х6000, данная технология имеет свои особенности, так как измельчаемый материал имеет повышенную твердость и разнородный грансостав:

- проведен анализ режимов работы мельницы МШРГУ-4500х6000: режим низкой загрузки, предперегрузочный режим, режим перегруза;

- поставлена цель управления шаровой мельницей МШРГУ-4500х6000;
- экспериментальным путем (многократные остановки мельницы под нагрузкой, визуальный контроль заполнения барабана мельницы, регламентная шаровая нагрузка) определено, что оптимальный предперегрузочный режим, конкретно для мельниц гали и скрапа МШРГУ-4500х6000 достигается при внутримельничном заполнению по объему барабана 40-45 %.

2. В работе произведена разработка и практическая реализация системы контроля и управления уровнем загрузки мельницы МШРГУ-4500х6000 с функцией защиты от перегруза, на реальном технологическом объекте, с использованием измерения амплитуды вибрации переднего подшипника мельницы:

- экспериментальные исследования, выполненные автором, показали высокий уровень корреляции амплитуды вибрации с уровнем загрузки;
- произведен обоснованный выбор типа датчика вибрации и мест их установки;
- произведен выбор рабочих амплитудных и частотных диапазонов сигналов;
- произведена калибровка шкалы сигнала вибрации для корректного отображения сигнала загрузки мельницы по объему;

3. Реализованную систему контроля внутримельничного заполнения с использованием вибрации в подшипниках мельницы мельницы МШРГУ-4500х6000 рассматриваем, как предложение с научной новизной:

- система рассматривается, как существенно менее затратная и простая в настройке альтернатива существующему на рынке анализатору загрузки ВАЗМ [3, 4];

- более того, по параметру внутримельничного заполнения с использованием вибрации в подшипниках мельницы реализовано

автоматическое регулирование загрузкой мельницы МШРГУ-4500х6000 в режиме реального времени.

- данная автоматизированная система управления технологическим процессом АСУТП шаровой мельницы МШРГУ-4500х6000 не требует установки нового программного обеспечения и дорогостоящего оборудования и может быть реализована возможностями существующей системы автоматизации.

Заключение

Использование метода защиты мельницы от перегруза с использованием сигналов вибрации в подшипниках позволяет минимизировать риски перегруза и длительных аварийных простоев шаровой мельницы МШРГУ-4500х6000.

Использование разработанной автоматизированной системы управления загрузкой мельницы вывода гали и скрапа обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК» с использованием вышеприведённого критерия позволит достаточно безопасно подвести процесс к оптимуму без риска аварийных ситуаций, обеспечить эффективный вывод гали и скрапа с УО-1, УО-2, повысить эффективность производства за счёт сокращения удельного расхода электроэнергии.

Литература

1. Виноградов В.С. Автоматизация технологических процессов на горнорудных предприятиях: Справочное пособие. М.: Недра, 1984. 167 с.
2. Головков Б.Ю., Рейбман Л.А., Колпиков Г.Г. Системы и средства автоматизации обогатительных фабрик. М.: Недра, 1990. 232 с.

3. Улитенко К.Я., Попов Е.В. Автоматическая защита барабанных мельниц от технологических перегрузок // Журнал обогащение руд. - 2004. - № 2. - С. 38-39.

4. Улитенко К.Я., Маркин Р.П. Соколов И.В., Виброакустический анализ процессов дробления и измельчения на горно-обогатительных предприятиях // Горный журнал. - 2009. - № 10. - С. 72-76.

5. Gugel K., Palacios G., Ramirez J., & Parra M. Improving ball mill control with modern tools based on digital signal processing (DSP) technology // Cement Industry Technical Conference, 2003. Conference Record. IEEE-IAS/PCA 2003. – IEEE, 2003. – С. 311-318.

6. Тараненко М.Е., Нусс М.В. Опыт использования датчиков вибрации для оценки предперегрузочных состояний измельчительных агрегатов // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2008. - Т. 4. - №2. - С. 108-110.

7. Тараненко М.Е. Автоматизированная система управления технологическим процессом измельчения руды в мельницах мокрого самоизмельчения // Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ. - 2010. - №10. - С. 369-372.

8. Дамба-Очир Дорждамба. Система управления технологическим процессом измельчения сырья в субкритических режимах с применением интеллектуальных алгоритмов на базе нечеткой логики // Московский государственный институт стали и сплавов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – 2004. – С. 143

9. Zhou P., Chai T., Wang H. Intelligent optimal-setting control for grinding circuits of mineral processing process // IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. – 2009. – Т. 6. – №. 4. – С. 730-743.

10. Полещенко Д.А., Боровинских М.Д. Повышение эффективности работы шаровой мельницы путем совместного использования наблюдателя



состояний и экстремального регулятора // Инженерный вестник Дона, 2022, №11 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7964.

References

1. Vinogradov V.S. Avtomatizaciya texnologicheskix processov na gornorudny`x predpriyatiyax [Automation of technological processes at mining enterprises]. Spravochnoe posobie. M. Nedra. 1984. 167 p.
2. Golovkov B.Yu., Rejbman L.A., Kolpikov G.G. Sistemy` i sredstva avtomatizacii obogatitel`ny`x fabric [Automation systems and means of the processing plants]. M. Nedra. 1990. 232 p.
3. Ulitenko K.Ya., Popov E.V. Zhurnal obogashhenie rud. 2004. no. 2. pp. 38-39.
4. Ulitenko K.Ya., Markin R.P., Sokolov I.V. Gorny`j zhurnal. 2009. no. 10. pp. 72-76.
5. Gugel K., Palacios G., Ramirez J., & Parra M. Cement Industry Technical Conference, 2003. Conference Record. IEEE-IAS/PCA 2003. IEEE, 2003. pp. 311-318.
6. Taranenko M.E., Nuss M.V. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. 2008. V.4. no. 2. pp. 108-110.
7. Taranenko M.E. Gorny`j informacionno-analiticheskij byulleten` MGGU. 2010. no. 10. pp. 369-372.
8. Damba-Ochir Dorzhdamba. Sistema upravleniya tekhnologicheskim protsessom izmel'cheniya syr'ya v subkriticheskikh rezhimakh s primeneniym intellektual'nykh algoritmov na baze nechetkoy logiki [Control system for the technological process of grinding raw materials in subcritical modes using intelligent algorithms based on fuzzy logic]. Moskovskiy gosudarstvennyy institut stali i splavov. Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. 2004. 143 p.



9. Zhou P., Chai T., Wang H. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. 2009. V. 6. no. 4. pp. 730-743.

10. Poleshenko D.A., Borovinskix M.D. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, № 11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7964.