

Разработка модели агента идентифицирующего сигнал шума в шаровой барабанной мельнице.

Кириллов И.Е.¹, Морозов И.Н.^{1,2}, Богатиков В.Н.³, Мурашев П.М.³

¹ Россия, Мурманск, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский арктический государственный университет»,

² Россия, Мурманская область, Апатиты, Центр физико-технических проблем энергетики Севера Федерального государственного бюджетного учреждения науки Кольского научного центра Российской академии наук,

³ Россия, Тверь, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный технический университет».

kirillovi@rambler.ru, moroz.84@mail.ru, vnbgtk@mail.ru, myptver@gmail.com

1. Введение

Современные системы управления технологическими процессами должны не только обеспечивать необходимую производительность при использовании минимального числа энергетических ресурсов, но и безопасность производственного оборудования. Даная необходимость подтверждается тем, что поломки, и как следствие простои, оборудования наносят существенный экономический вред предприятию, который не покрывается прибылью получаемой при работе оборудования на «максимальных мощностях» [1-7].

В данной работе рассматривается вопрос об идентификации сигнала шума, который генерирует шаровая барабанная мельница (МБШ). Данный сигнал можно идентифицировать, а впоследствии, и использовать для реализации управления процессом измельчения руды, с учетом изменения внутренних состояний оборудования.

В работе предлагается вариант разработки программного агента оценивающего изменение параметров технологического процесса в совокупности с изменением состояния МБШ, которое приводит к изменению ситуации влияющей на выбор технологического регламента управления.

2. Технологический процесс измельчения

Технологический процесс мокрого измельчения (рисунок 1) является достаточно сложным, работу МБШ нельзя рассматривать отдельно от работы классифицирующего аппарата,

поскольку присутствует обратная связь, влияющая на материальный баланс в барабане мельницы.

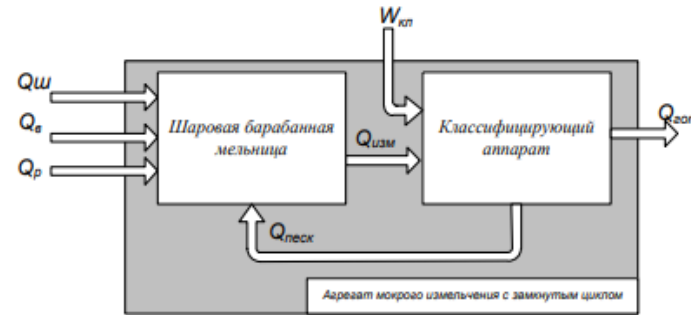


Рисунок 1. Схема технологического процесса измельчения в агрегате мокрого измельчения с замкнутым циклом.

Входными потоками поступающими в мельницу являются, исходное сырье предназначенное для измельчения Q_r , вода Q_v (от пропорций воды к измельчаемому сырью зависит производительность мельницы), измельчительные шары (керамические или металлические) $Q_{ш}$, а так-же пескообразная фракция, не прошедшая классифицирующий аппарат и возвращенная в мельницу $Q_{песк}$. Данные потоки реализуют материальный баланс внутри барабана мельницы, от которого будет зависеть производительность её работы.

Если, к примеру, исследованиями, проводимыми специалистами Центральной технологической лаборатории ОАО «АПАТИТ», было установлено, что расход воды в мельницу должен быть пропорционален производительности конвейера-питателя мельницы по руде [1]:

$$Q_v = (0.25 \div 0.28) \cdot Q_r$$

То расход шаров поступающих в мельницу можно регулировать лишь по значению её производительности. Количество догружаемых шаров в мельницу необходимо изменять, поскольку в процессе измельчения, шары теряют свои свойства в результате механических повреждений и производительность МБШ снижается.

Изменение веса шаровой загрузки можно определить, используя нормируемый показатель Ψ – расход шаров на 1 т переработанной руды.

$$\Delta Q_{ш} = -\Psi \cdot \int_{t_0}^{t_k} Q_{изм} dt$$

где $Q_{изм}$ – производительность мельницы по исходной руде, т/ч.

Таким образом, в идеальном варианте, создавая определенный баланс воды, шаров и обрабатываемого сырья можно достичь определенной производительности мельницы, но в реальной ситуации существует дополнительный фактор, существенно влияющий на технологический процесс. Данным фактором является состояние футеровки барабана мельницы, которое со временем под воздействием ударных нагрузок со стороны шаров

3. Анализ состояния футеровки мельницы

Процесс измельчения руды с помощью МБШ является непрерывным, останов мельницы происходит лишь при максимальном износе футеровки для её замены, при этом состояние футеровки можно оценить лишь по шуму, издаваемому мельницей, либо остановка мельницы происходит в соответствии с производственным расписанием после определенной наработки часов. В данной статье под шумом понимается не фактическое звуковое загрязнение, а вибрации присутствующие в корпусе мельнице. Микрофоны способные вести запись звука оказываются не пригодными для использования в условиях промышленного цеха в связи с фиксацией ими посторонних шумов.

Таким образом, далее под шумом понимается полезный сигнал, снимаемый датчиком вибраций с области измельчения.

Общий (средний) потенциал всех взаимодействующих элементов внутри системы “мельница”, наиболее вероятно будет представлен шумовым сигналом области измельчения, считываемым датчиком. Данный сигнал, есть результат всех участников взаимодействия, отражающий их обоюдное поведение.

Рассмотрим сигнал шума, более 7000 значений агрегата (рис.2).

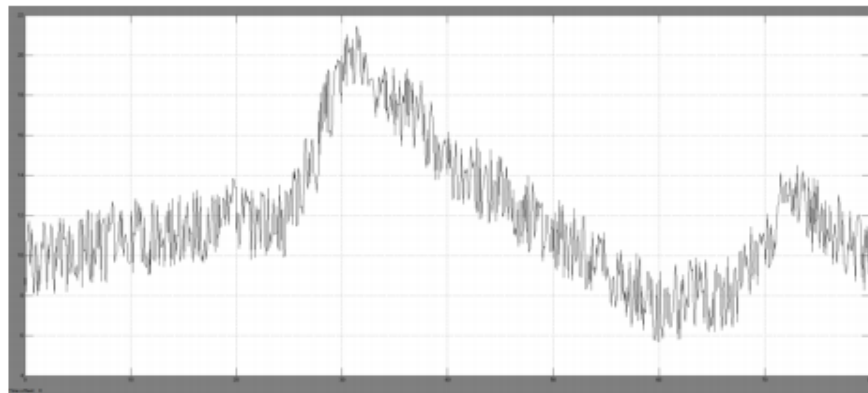


Рисунок 2. 7965 отсчетов сигнала – шум мельницы.

Как видно на рисунке, данный сигнал содержит как низкочастотные, так и высокочастотные составляющие. Сигнал шума при исследовании был подвергнут анализу сингулярности спектра (метод гусеница) с использованием программы CaterpillarSSA 3.30 для выявления главных компонент. Анализ выявил большое количество периодических составляющих в среднечастотном диапазоне, что очевидно обусловлено периодичностью работы подвижных частей машины, и, большое количество высокочастотных составляющих с малыми значениями энергий, которые не дают какого-либо весомого вклада в общий сигнал.

Проводя анализ данного сигнала можно выявить наличие в нем подобных друг другу участков, описываемых функциями-сигнатурами.

На рис. 3 представлен фильтрованный сигнал датчика шума для МБШ. На интервале в 812 дискретных отсчетов было идентифицировано 2 крупномасштабных кооперативных удара (соответствующие сигнатуры выделены прямоугольником). По результатам вычислительного эксперимента за час идентифицируется ~5 сигнатур (порядок сглаживания 4, длина сигнатуры 12 отсчетов), при уменьшении длительности формирования сигнатуры до 10 отсчетов, количество фактов идентификации резко увеличивается. Оптимальную длительность для идентификации кооперативных ударов (сигнатур), по результатам вычислительного эксперимента, предлагается выставлять от 12 до 15 дискретных отсчетов при порядке

сглаживания 4. Сигнатура обладает свойством самоподобия, то есть она может идентифицироваться и на более малых масштабах. Данное событие можно интерпретировать как равномерный износ защитного покрытия, связанный с незначительным кооперативным ударом.

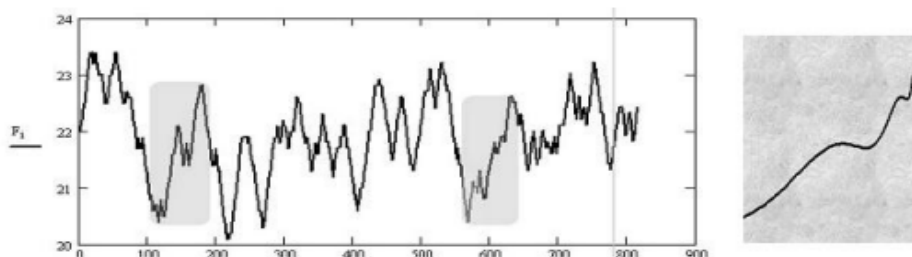


Рисунок 3. Сигнал датчика шума агрегата M18 (слева) и функция-сигнатура (справа).

При значительном увеличении количества сигнатур, можно сделать вывод о существенном износе футеровки и необходимости планового ремонта.

Сигнал шума можно попытаться использовать и для изменения режима работы мельницы, поскольку на него влияют не только состояние футеровки но и пропорции составляющих материальный баланс компонентов внутри барабана.

4. Идентификация функции шума

Очевидным является тот факт, что на уровень шума издаваемого мельницей в процессе работы влияют несколько факторов. Математически, точную функцию, описывающую данное влияние, вывести не представляется возможным.

Имея достаточно большое количество измерений параметров технологического процесса связь между шумом и всеми влияющими на него величинами можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} S1 = k1e^{Qu1} + k2e^{Qs1} + k3e^{Qp1} + k4e^{Qпеск1} + k5e^{ωдвиz1} + k6e^{W1} \\ S2 = k1e^{Qu2} + k2e^{Qs2} + k3e^{Qp2} + k4e^{Qпеск2} + k5e^{ωдвиz2} + k6e^{W2} \\ S3 = k1e^{Qu3} + k2e^{Qs3} + k3e^{Qp3} + k4e^{Qпеск3} + k5e^{ωдвиz3} + k6e^{W3} \\ S4 = k1e^{Qu4} + k2e^{Qs4} + k3e^{Qp4} + k4e^{Qпеск4} + k5e^{ωдвиz4} + k6e^{W4} \\ S5 = k1e^{Qu5} + k2e^{Qs5} + k3e^{Qp5} + k4e^{Qпеск5} + k5e^{ωдвиz5} + k6e^{W5} \\ S6 = k1e^{Qu6} + k2e^{Qs6} + k3e^{Qp6} + k4e^{Qпеск6} + k5e^{ωдвиz6} + k6e^{W6} \end{cases} \quad (1)$$

Данная система представляет собой систему линейных уравнений, в которой можно выразить связи между количеством шаров, воды, руды, песков поступающих с гидроциклона, скорости двигателя и состояния футеровки друг с другом. По сути система является неким «уравнением материального баланса». В работе предлагается оценивать состояние футеровки значением от 0 до 1 (1 новая футеровка, 0 критическое состояние при котором необходимо производить её замену для предотвращения поломки МБШ). Следует отметить, что оценку состояния футеровки при проведении опытных исследований дает эксперт.

Практически проведя ряд опытов, можно получить необходимые исходные данные для решения этой системы и определения неизвестных коэффициентов k, после чего выразив

последнее слагаемое возможно выразить состояние футеровки от всех остальных параметров, и в дальнейшем отслеживать его в ходе технологического процесса.

Для анализа экспертных данных была разработана модель в среде MatLab, представленная на рисунке 4а. По сути, данная модель является моделью агента оценки шума МБШ, которую в дальнейшем можно использовать для анализа состояния футеровки, регулирования работы МБШ или для осуществления прогнозов при упреждающем управлении.

На рисунке 4б, представлены результаты её функционирования, наложенные на статистические данные, которые были выбраны для расчета коэффициентов, очевиден факт, что функциональная зависимость имеет тот же самый вид, что и в настроечных данных, но сигнал получен с некоторым запаздыванием, и является более низким чем среднее значение шума использованное для настройки.

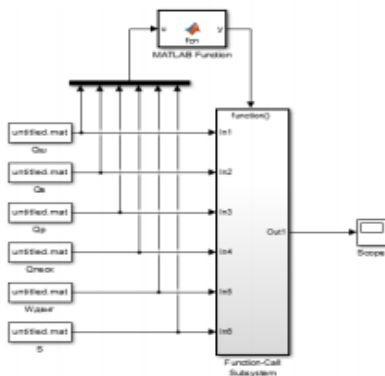


Рисунок 4а. Агент идентификации шума МБШ

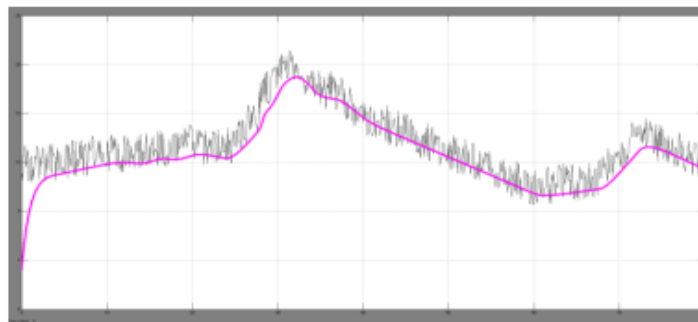


Рисунок 4б. Результаты моделирования

После обсуждения результата работы модели со специалистами трудящимися на производстве и работающими непосредственно с МБШ, было сделано заключение о функциональной неполноте системы уравнений (1). Поскольку во время процесса дробления в результате трения шаров друг о друга и трения перерабатываемого сырья существенно изменяется температура, было принято решение в системе уравнений (1) учесть и описывающее её слагаемое. Поскольку принципиально форма системы уравнений не поменялась, в данной статье не приводится её вид. На рисунке 5 приведены результаты моделирования с учетом температуры и в сравнении с сигналом шума и результатом работы модели с рисунка 4.

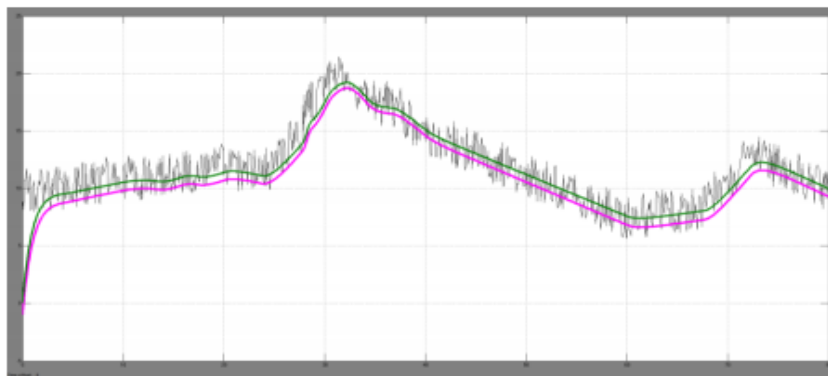


Рисунок 5. Результаты моделирования с учетом изменения температуры

Из результатов видно, что при достаточно быстром изменении сигнала шума модель не в состоянии полноценно оценить его среднее значение, но на остальных участках качество её работы удовлетворительное.

5. Заключение

Следует отметить, что использования такого параметра как уровень шума в МБШ, так и в других технологических объектах может существенным образом повлиять на срок службы оборудования и на непрерывность технологического цикла, за счет своевременного планово-предупредительных ремонтов [2,8]. В статье предложена модель агента оценивающего уровень шума в МБШ, который можно использовать как для моделирования системы автоматического регулирования МБШ, так и для прогнозирования изменения уровня шума а следовательно и состояний футеровки. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-07-00914).

Литература

- [1] I E Kirillov et al 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. **302** 012042
- [2] Морозов И.Н., Кузнецов Н.М. Моделирование потребляемой мощности шаровой мельницы, Горные науки и технологии. 2016;(4):50-61. DOI:10.17073/2500-0632-2016-4-50-58
- [3] Austin L. G. Klimpel R. R., Luckie P. T. and Rogers R. S. C., (1982), Simulation of grinding circuits for design, Design and Installation of Comminution Circuits, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers Inc, New Jersey, 1982, Editor; Mular, A. L., Jergensen, G. V., Chapter 19, pp. 301-324.
- [4] Austin L. G., Klimpel, R. R. and Luckie, P. T. (1984), Process engineering of size reduction: ball milling, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers Inc, New Jersey, 1984, pp. 1-556.
- [5] Bbosa LS, Govender I, Mainza AN, et al. Power draw estimations in experimental tumbling mills using PEPT. Miner Eng 2011; 24: 319–324
- [6] Bbosa, L., Mainza, A., Govender, I. A probability based model for the power draw of a tumbling mill (2014) IMPC 2014 - 27th International Mineral Processing Congress.
- [7] Bbosa, L.S., Govender, I., Mainza, A. Development of a novel methodology to determine mill power draw (2016) International Journal of Mineral Processing, 149, pp. 94-103. DOI: 10.1016/j.minpro.2016.02.009
- [8] Кузнецов Н.М. Анализ электропотребления на горных и обогатительных предприятиях «ОАО Апатит», «Горное оборудование и электромеханика», 2007, № 1, С. 44-47.