

# О СПОСОБАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДАВЛЕНИЯ РЕГУЛЯРНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПОМОЛЬНО-СМЕСИТЕЛЬНОМ АГРЕГАТЕ

---

*rubamov@intbel.ru*

Рубанов В.Г., д-р техн. наук, проф.,  
Бушуев Д.А., аспирант,  
Стативко С.А., аспирант,  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В. Г. Шухова*

**Аннотация:** В статье описаны оригинальные способы подавления регулярных колебаний помольно-смесительного агрегата. Показаны структуры систем автоматического подавления вибрации и результаты моделирования. Приведены эффекты использования модульных уравнивающих устройств с оригинальными способами управления.

**Ключевые слова:** помольно-смесительный агрегат, вибрация, подавление, поверхность статических характеристик.

В настоящее время актуальным является исследование процесса измельчения различных материалов (клинкера, стекла, керамики и др.), осуществляемого при помощи шаровых мельниц трехкамерного типа [1, 2], существенным недостатком которых является их высокий уровень вибрации, приводящий как к увеличению энергетических затрат на измельчение, так и к снижению эффективности оборудования за счет уменьшения его долговечности в силу появления усталостных явлений в подвижных элементах, находящихся под действием переменной динамической нагрузки. Следовательно, возникает задача исследования регулярных колебаний и способов их устранения или хотя бы частичного подавления.

На основе методов планирования эксперимента были получены уравнения регрессии и построена поверхность (семейство) статических характеристик (рис. 1), отражающая зависимость уровня вибрации центробежного помольно-смесительного агрегата (ЦПСА)  $Y$  (мм) от коэффициента загрузки в помольных камерах и положения дополнительного противовеса при различных фиксированных значениях частоты вращения эксцентрикового вала [3]. Это позволило разработать несколько путей подавления вибрации в режиме непрерывного функционирования помольно-смесительного

оборудования на основе построения систем автоматического управления.

Одним из оригинальных подходов является реализация системы автоматического управления с использованием полученной математической модели. Структура системы программного управления автоматического снижения вибрации центробежного помольного агрегата (рис. 2), содержит три подсистемы: подсистему управления положением противовеса модульного уравнивающего устройства; подсистему загрузки помольных камер и подсистему управления частотой вращения эксцентрикового вала.

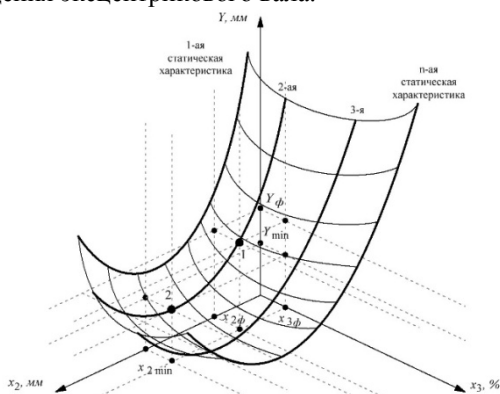


Рисунок 1 – Поверхность статических характеристик ЦПСА

Система управления осуществляет анализ режима работы и учет параметров в ходе технологического процесса помола и по заложенной в память программируемого контроллера базе данных, содержащей поверхность статических характеристик, определяет и устанавливает оптимальное положение противовеса, соответствующее минимуму вибрации [4]. Положение противовеса может регулироваться, в том числе, при помощи оригинального способа адаптивного трехпозиционного регулирования положения противовеса, позволяющего повысить точность работы подсистемы управления положением противовеса модульного уравнивающего устройства и, как следствие, системы автоматического подавления вибрации.

Другой путь подавления вибрации состоит в разработке систем экстремального управления, то есть с использованием поисковых алгоритмов [5,6]. В подготовленной заявке подавление вибрации осуществляется с помощью самоорганизующейся экстремальной системы, которая в начальном этапе проходит процесс самообучения

под необходимый режим работы, в результате чего в дальнейшем происходит желаемое движение противовеса, обеспечивающее минимальное значение вибрации с высокой точностью и экономичностью использования системы автоматизации. Структура этой системы изображена на рис. 3.

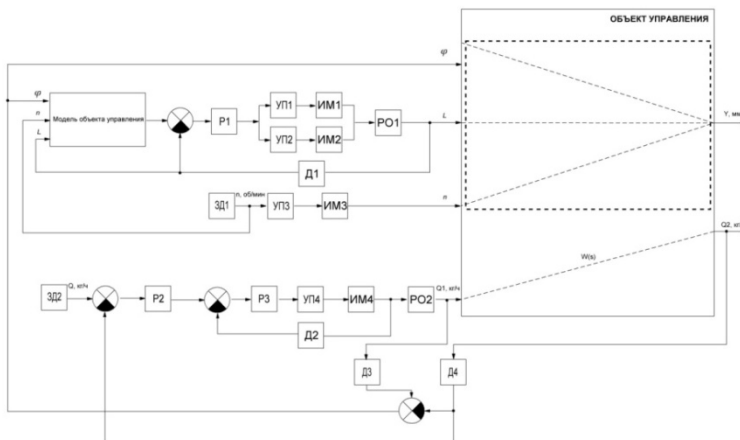


Рисунок 2 – Структура системы автоматического управления:  
 ЗД1, ЗД2 – задатчики; P1-P3 – регуляторы; УП1-УП3 – усилители преобразователи; ИМ1-ИМ4 – исполнительные механизмы; РО1, РО2 – рабочие органы; Д1-Д4 – датчики

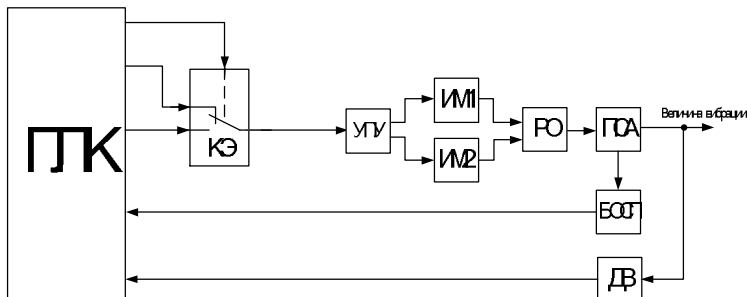


Рисунок 3 – Структура самоорганизующейся системы подавления вибрации:  
 ПЛК – программируемый логический контроллер; КЭ – коммутирующий элемент; УПУ – усилительно-преобразовательное устройство; ИМ1, ИМ2 – исполнительные механизмы (тормозные муфты), РО – регулирующий орган; БОО – блок определения состояния помолы; ДВ – датчик вибрации

В программируемом логическом контроллере записан алгоритм управления, согласно которому на первом цикле загрузки определяется дрейф статической характеристики, возникающий из-за движения материала в процессе помола из верхней помольной камеры в нижнюю. На последующих циклах загрузки включается программное движение по полученной в результате обучения траектории дрейфа. В случае отклонения уровня вибрации (в пределах заданной зоны нечувствительности) от соответствующих значений, полученных в процессе обучения, включается поиск экстремума, который ликвидирует возникшее отклонение от экстремума. Результаты моделирования самоорганизующейся автоматической системы подавления вибрации приведены на рис. 4.

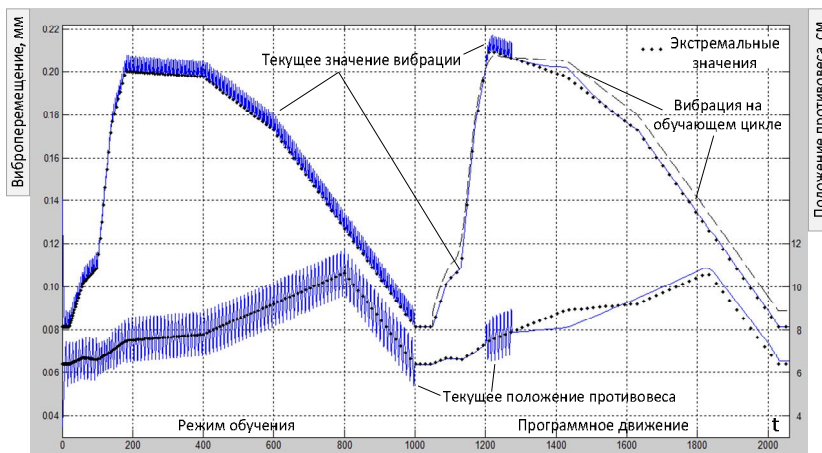


Рисунок 4 – Результаты моделирования самоорганизующейся автоматической системы подавления вибрации

Эффект использования модульных уравнивающих устройств с оригинальными способами управления состоит в повышении энергоэффективности и увеличении ресурса работы узлов и деталей измельчительного оборудования.

На основе проведенных опытно-промышленных испытаний разработанного модульного уравнивающего устройства на предприятии ООО «РЕЦИКЛ-ИНТЕХ», и опытно-промышленной апробации центробежного помольного агрегата с модульным уравнивающим устройством в условиях производства на ОАО

«Кварцит» (Брянская обл.). Получен экономический эффект в размере 279,5 тыс. руб.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта №14-41-08009 «р\_офи\_м».*

#### **Список литературы:**

1. Севостьянов В.С., Уральский В.И., Сеница Е.В. Центробежный помольно-смесительный агрегат // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2005. № 11. С. 215-217.
2. Уральский А.В., Севостьянов В.С. Многофункциональный центробежный агрегат с параллельными помольными блоками // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 106-112.
3. Стативко С.А., Рубанов В.Г. Идентификация помольно-смесительного агрегата в номинальном режиме функционирования методами планирования эксперимента // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. № 12. С. 282-292.
4. Стативко, С.А., Рубанов В.Г., Гольцов Ю.А. Система автоматического подавления негативной вибрации помольно-смесительного агрегата // Приборы и системы. 2014. № 10. С. 1-7.
5. Бушуев Д.А., Воробьев Н.Д., Рубанов В.Г. Анализ динамических нагрузок в подшипниках помольно-смесительного агрегата как объекта автоматизации // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 2. С. 143-148.
6. Бушуев Д.А., Рубанов В.Г. Моделирование динамики экстремальной системы автоматической балансировки центробежного помольно-смесительного агрегата // Приборы и системы. 2014. №11. С. 29-35.