

показателей качества электрической энергии, превышающих нормируемые стандартами значения, нормальная работа электромеханических систем или вообще невозможна, или может быть обеспечена только в случае значительного уменьшения нагрузки. Существенное снижение энергоэффективности электромеханических систем имеет место даже в случае, когда показатели качества электрической энергии меняются в пределах допустимых стандартами значений.

Ключевые слова: энергоэффективность, электромеханическая система, качество напряжения питания, режим нагрузки.

Надійшла 24.02.2016

Received 24.02.2016

УДК 621.311.1:621.9.263:681.51/54

А.В. Мейта, канд. техн. наук,

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРНОГО ПОЛЯ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

В работе рассматривается факторное поле шаровой мельницы, которое позволяет выделить основные факторы определяющие работу измельчающих агрегатов для создания на его основе нейросетевой модели элементов дробильно-помольного комплекса. Показано, что объект автоматического регулирования типа «мельница» математически описывается инерционным звеном первого порядка с учетом транспортного запаздывания. Показано, что построение управляющей нейронной сети целесообразно не только для всего комплекса в целом, но и для отдельных его элементов (этапов).

Ключевые слова: Факторное поле, нейросетевая модель, измельчение, шаровая мельница.

Вступление. Математическое моделирование позволяет количественно рассчитать оптимальные параметры процессов и аппаратов и определить пути и методы совершенствования техники и технологии производства. Математическая модель описывает реальный объект с некоторым приближением. Степень соответствия описания реальному процессу определяется, прежде всего, полнотой учета возмущающих воздействий. При отсутствии или незначительности возмущений можно однозначно определить влияния входных и управляющих параметров на выходные.

Задачи оптимизации процесса и параметров аппарата являются, как правило, обратными, в которых задаются физические свойства, кинетические константы, константы процесса, постоянные времени, коэффициенты модели в динамическом описании объекта. Обратные модели позволяют определить значения входных параметров и других заданных или оптимальных начальных свойств обрабатываемых веществ, а также установить допустимые отклонения режимов обработки. Обратными моделями. Для их решения математические описания приводят к виду, пригодному для поиска оптимального решения одним из известных методов.

Объективная модель измельчающего объекта может быть создана при условии хорошей осведомленности о свойствах изучаемого объекта. По степени полноты информации об объекте и процессах, происходящих внутри их, элементы дробильно-помольного комплекса относятся к объектам с нулевым уровнем информации. В данном случае объект представляется как «черный ящик», а его математическая модель строится путем статистических испытаний реального объекта на основе регрессионного, дисперсного и корреляционного анализов и факторного планирования эксперимента [1]. Поэтому для создания более информативной модели процесса дробления необходимо рассмотреть физическую сторону процесса разрушения вещества в измельчающих агрегатах и факторы, его определяющие.

Цель и задачи исследования. Оптимизация энергопотребления желательна на всех стадиях управления процессами помола и дробления и особенно важна для крупных, энергоемких объектов, таких как шаровая мельница. Измельчение сырья в шаровых мельницах является последней стадией уменьшения крупности вещества. Мощность при работе шаровой мельницы расходуется на подъем шаровой загрузки, на сообщение ей кинетической энергии и на преодоление вредных сопротивлений.

Согласно существующим подходам к построению систем управления объект автоматического регулирования типа «мельница» математически может быть описан инерционным звеном первого порядка с учетом транспортного запаздывания, либо инерционным звеном второго порядка также с учетом транспортного запаздывания. Таким образом, динамические свойства мельниц по каналам «производительность питателя - производительность объекта», «крупность исходного материала - производительность объекта», «прочность измельчаемого материала - потребляемая двигателями агрегата мощность», может быть представлена в виде передаточной функцией [2], общий вид которой приведен в формуле

$$W = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{T \cdot p + 1}$$

где k – коэффициент усиления;

τ – время запаздывания;

T – постоянная времени объекта.

Как видно, такое описание объекта не отображает ни его многофакторности, ни многосвязности. При данном подходе устанавливается зависимость между входным и выходным воздействиями согласно их совместному изменению во времени.

Целью работы является формирование и анализ факторного поля для определения границ множества показателей процесса измельчения, которые влияют на эффективность энергоиспользования дробильно-помольного комплекса. Факторное поле является основой нейросетевой модели дробильно-помольного комплекса, которая учитывает многофакторность системы и отображает ее внутренние связи.

Результаты исследований. Факторное поле шаровой мельницы может быть представлено диаграммой Исикава (рис. 1.). Такая диаграмма отображает основные структурные связи внутри системы и позволяет наглядно представить влияние факторов на величину электропотребления. Основные позиции на диаграмме отведены четырем группам факторов, определяющим технологический процесс. Разбиение факторов внутри групп упрощает оценку влияния того или иного фактора. Некоторые факторы, могут быть включены в две группы, или относиться к той или иной группе в зависимости от целевой функции оптимизации процесса.

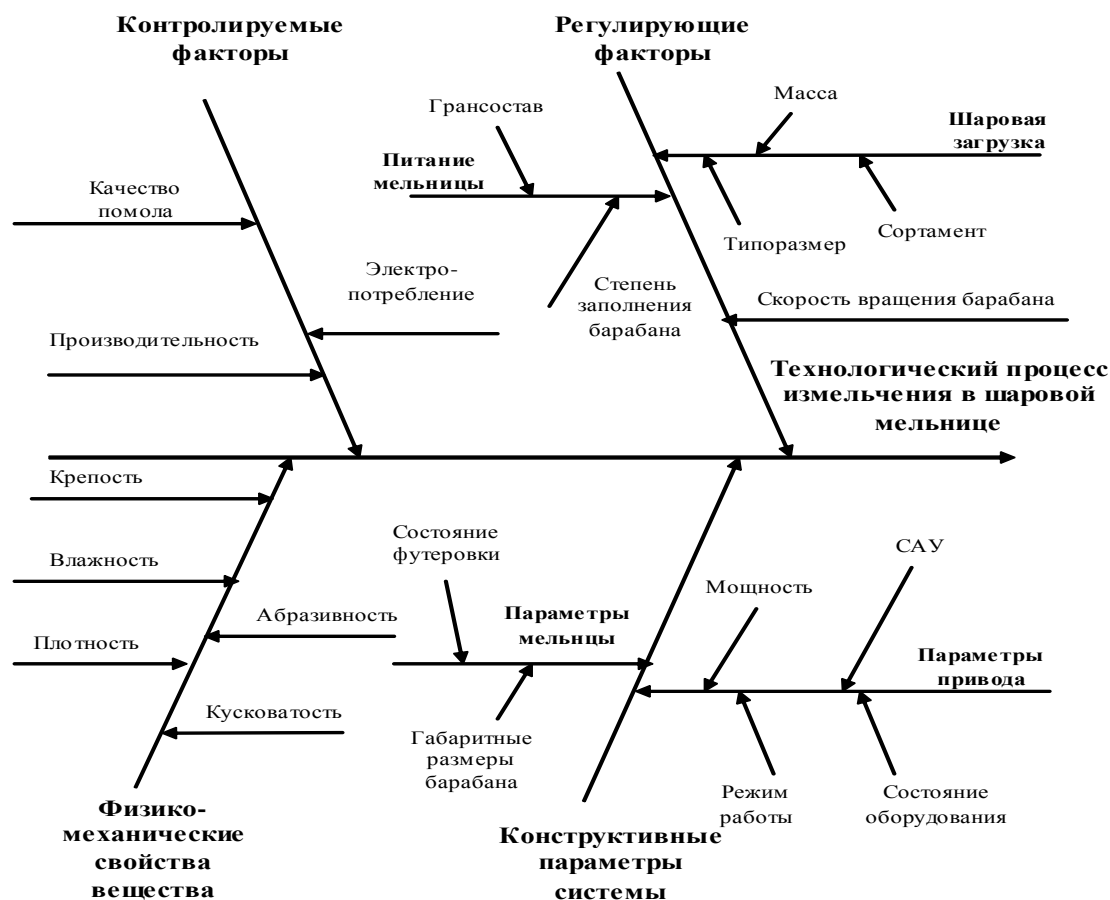


Рисунок 1 – Факторное поле шаровой мельницы

Рассмотрим факторное поле шаровой мельницы. Для простейшего случая группа контролируемых факторов может быть представлена одной величиной. Для ранних систем управления, в процессах, где допускался значительный разброс по качеству помола, такой величиной принималась производительность оборудования. На предприятиях, где выдвигались более жесткие требования к качеству готового продукта, выходной вектор состоял из двух величин: производительности и качества. С наступлением времен дефицита энергии выходной вектор был дополнен таким фактором как электропотребление. Кроме вышеуказанных величин в состав выходного вектора могут входить такие величины как давление масла в цапфе, крутящий момент на валу, вес вещества в мельнице, ток в статоре приводного двигателя и т. п., но все эти величины являются косвенными для определения трех основных: электропотребления, качества помола, производительности оборудования. Поэтому, вне зависимости от того по скольким переменным контролируется процесс, можно говорить о трех факторах выходного вектора, к которым приводятся все косвенные факторы.

Группа величин, характеризующих оборудование наиболее статична по отношению к другим группам факторов. Изменения величин из этой группы требуют гораздо большего времени, либо же при соответствующем режиме замены могут считаться постоянными. Такой параметр как мощность привода со временем не меняется, а степень его изношенности на отрезке времени длиной в рабочий цикл может быть принята постоянной при условии эксплуатации привода в номинальном режиме. Габаритные размеры мельницы – величина постоянная, однако, следует учитывать, что размеры рабочего пространства за время работы увеличиваются, что связано с износом футеровочной брони, что вместе с тем ухудшает условия измельчения. Поскольку толщину футеровочных плит нельзя регулярно контролировать (остановка оборудования, демонтаж футеровки), то для построения факторного поля можно использовать приблизительные оценочные характеристики, типа: новая, слегка изношенная, средняя степень изношенности, сильно изношенная и т. п., которые в дальнейшем будут преобразованы в некоторые числовые оценки.

В группе регулирующих факторов следует выделить такие основные факторы, как загрузка материалом, шаровая загрузка и скорость вращения барабана мельницы. Регулирование работы шаровой мельницы осуществляется, прежде всего, за счет ее загрузки материалом. Для мельниц разомкнутого цикла величина подаваемого питания является основной величиной определяющей производительность мельницы. Количество подаваемого вещества в сочетании с шаровой загрузкой образуют величину циркуляционной нагрузки, которая влияет на расход электроэнергии объекта. Основным из параметров, оказывающих наибольшее влияние на характер графика нагрузки шаровой мельницы, является вес шаров, находящихся в мельнице. График зависимости потребляемой мощности от шаровой загрузки приведен на рис. 2 и характерен для мельницы любого типа. На рисунке точки 1, 2 соответствуют неуравновешенной циркуляционной нагрузке (недостаток шаров); точка 3 – уравновешенная нагрузка, наиболее выгодный режим работы мельницы; точки 4, 5 – циркуляционная нагрузка не уравновешена из-за избытка шаров и уменьшения кинетической энергии; P_{xx} – мощность, потребляемая мельницей без шаровой загрузки и без питания.

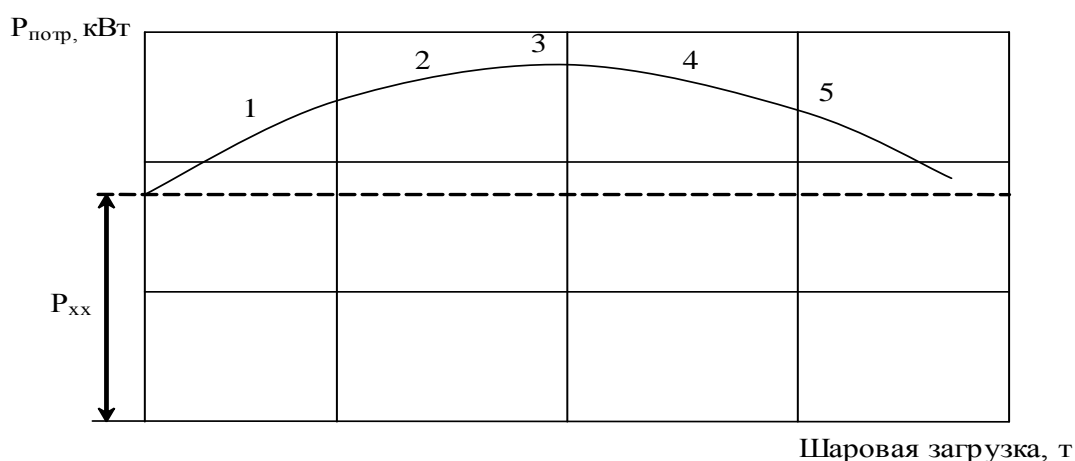


Рисунок 2 – Кривая зависимости мощности, потребляемой шаровой мельницей, от шаровой загрузки

Для шаровой загрузки важным является не только ее масса, но и сортамент загружаемых шаров, поскольку размер шара определяет выполняемую им работу измельчения. При определении необходимого количества догружаемых шаров существует ряд сложностей, связанных с невозможностью точного определения количества и сортамента шаров, оставшихся в мельнице. Величина остатка шаров чаще всего

определяется по эмпирическим зависимостям износа шаров. Данные зависимости и регламентируют на производстве периодичность догрузки и количество догружаемых шаров, что не всегда соответствует реальным условиям работы. Догрузка же, как правило, осуществляется шарами одного типоразмера, реже двух.

Другим важным фактором, влияющим на величину потребляемой мощности и режим измельчения, является скорость вращения барабана мельницы [3, 4]. Как известно, режим работы шаровой мельницы в зависимости от скорости вращения может быть каскадным или водопадным. В соответствии с режимом работы мельницы будет определяться и характер изменения потребляемой мощности. Обычно принимают, что величина полезно затрачиваемой мощности при прочих равных условиях пропорциональна скорости вращения барабана. Однако в действительности при указанных условиях мощность возрастает несколько быстрее, чем растет скорость барабана. К тому же такой рост мощности наблюдается только при каскадном режиме работы. Как видно из графика (рис.3), мощность, потребляемая мельницей, растет с увеличением скорости до определенных пределов. Причем этот рост неодинаков и зависит от величины шаровой загрузки, которая дана в процентах от объема мельницы.

При водопадном режиме работы мощность, потребляемая мельницей, определяется работой, затрачиваемой на подъем шаров по круговым траекториям, и частью кинетической энергии, сообщаемой шарам для полета по параболическим траекториям. Кривые зависимости потребляемой мощности от степени заполнения шарами и скорости вращения (в процентах от критической) изображены на рис. 3.

При каскадном режиме, начинающемся при малых скоростях, мощность возрастает пропорционально скорости вращения. С переходом к водопадному режиму при увеличении скорости вращения мощность вначале несколько возрастает, при определенной скорости, зависящей от степени заполнения шарами, достигает максимума и затем, по мере приближения к критической скорости, постепенно падает. При соответствующих сверхкритических скоростях все слои шаров будут центрифугировать и потребляемая мощность упадет до мощности холостого хода.

Граница между режимами измельчения зависит от степени загрузки мельничного барабана, поэтому в условиях постоянно меняющейся нагрузки необходима постоянная корректировка скорости. Применение регулируемого привода в измельчительных установках позволяет оказывать существенное влияние на величину потребляемой мощности и качество помола. Кроме того, для дробильно-измельчительных комплексов существует возможность подбора сочетания скоростей объектов различных стадий измельчения для обеспечения минимального электропотребления в целом по всему комплексу.

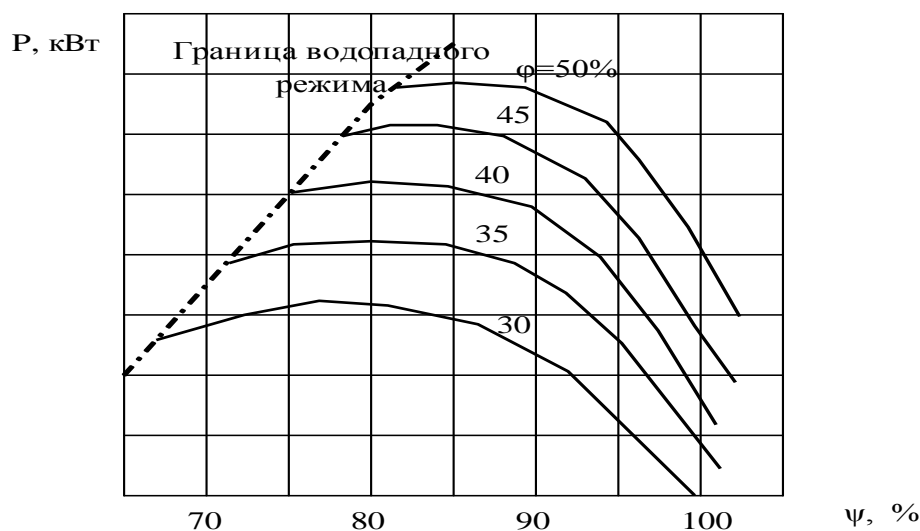


Рисунок 3 – Мощность, потребляемая мельницей при различных скоростях вращения барабана и различных степенях заполнения мельницы шарами

Физико-механические свойства измельчаемого вещества образуют отдельную группу факторов, которые необходимо учитывать при создании системы управления измельчением, поскольку именно эти факторы определяют тот необходимый минимум энергии для выполнения технологического процесса. Сюда относят крепость, влажность, абразивность, плотность, сыпучесть, кусковатость, гранулометрический состав.

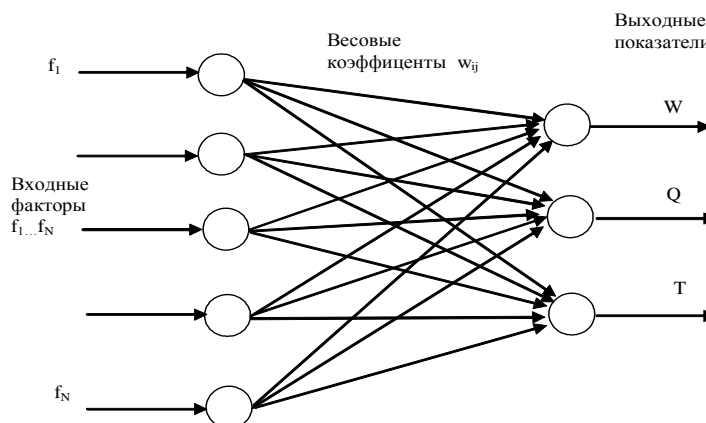


Рисунок 4 – Модель нейронной сети для управления помолом

Параметр крепость – основной параметр при измельчении, чем он выше, тем больше энергии придется затратить на разрушение вещества. Поэтому настройку систем управления следует производить для веществ одной группы крепости, либо же дополнительно настраивать систему на работу во всем диапазоне крепости. Для процесса сухого помола влажность определяет изменение условий измельчения, налипание материала на рабочие поверхности, создание «подушки», мешающей измельчению. Для процесса мокрого помола влажность выражается в соотношении твердой и жидкой фаз, что сказывается на дальнейшем расходе энергии в технологическом процессе. Кусковатость и гранулометрический состав исходного питания влияют на время нахождения материала в мельнице, а значит на расход энергии для получения продукта измельчения заданного качества.

В нейросетевой модели, построенной на основе факторного поля [5], в качестве входного вектора используются приведенные факторы, а в качестве выходных величин контролируемые параметры процесса. Подобная сеть представлена на рис.4. Влияние факторов на величины энергопотребления, тонины и производительности определяется величиной весовых коэффициентов.

Выводы. Структура факторного поля управления дробильно-помольным комплексом – факторное поле включает в себя такие группы величин: контролируемые, регулирующие и величины, характеризующие оборудование.

Представление факторного поля в виде нескольких групп величин является удобной с точки зрения дальнейшей обработки с помощью нейросетевых моделей, поскольку при таком разделении факторов группа контролируемых величин представляет собой целевой вектор, а все остальные – входной. На основании приведенных данных возможно построение нейронной сети для управления дробильно-помольным комплексом. Построение управляющей нейронной сети целесообразно не только для всего комплекса в целом, но и для отдельных его элементов (этапов), которые по результатам энергоаудита окажутся наиболее энергоемкими и будут иметь наибольшие возможности регулирования.

Список литературы

1. Федоткин, И.М. Математическое моделирование технологических процессов: Методы математического моделирования и решения процессных задач [Текст]/ Федоткин И.М., Бурлай И.Ю., Рюмшин Н.А. - К: Техника, 2002.- 407 с.
2. Гинзбург И.Б. Автоматизация цементного производства. Справочное пособие [Текст]/ Гинзбург И.Б, Смолянский А.Б. - Л.; Стройиздат, Ленинградское отделение, 1986. – 206 с.
3. Андреев С.Г. Наивыгоднейшее число оборотов шаровой мельницы /Горный журнал . - 1954. № 10, - С. 28-31.
4. Андреев С.Е. Дробление и измельчение и грохочение полезных ископаемых [Текст]/ Андреев С.Е., Зверичев В.В., Перов В.А М. - Недра, 1966. - 628 с.
5. Розен В.П. Применение моделей на базе нейронных сетей для решения многокритериальной задачи управления дробильно-измельчительным комплексом / Розен В.П., Калинин В. П., Мейта А.В. // Вісник НТУУ “КПІ”, серія “Гірництво”, 2003, вип. 8. – С. 134 – 141.

О. Мейта

**National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”
STUDY OF A FACTORIAL FIELD OF THE BALL MILL**

In the paper, the factorial field of a ball mill considers; the field allows to identify the main factors that determine the performance of grinding units to create a neural network's model for elements of grinding and

threshing complex. The object of automatic control of a type 'mill' is presented mathematically by the first order of inertial element with a taking into account of the transport delay. Creation of a control neural network is suitable not only for the whole complex, but also for some of its elements (stages).

Key words: factorial field, model of the neural network, grinding, ball mill.

References

1. Fedotkin I. Simulation of Technological Processes: Simulation Methods and Solution of Processes Tasks [Text] / Fedotkin I., Burlay I., Riumshyn N. - K.: Technica. – 2002. – 407 p.
2. Ginzburg I. Automatization of Cement Production. Handbook [Text] / Ginzburg I., Smolianskii A. - L.: Sroiizdat. – 1986. – 206 p.
3. Andreev S. Optimal Quantity of Rotation of a Ball Mill / Andreev S. //Gornyi Jour. – 1954. – No. 10. – P. 28-31.
4. Andreev S. Fractional Crushing and Minerals Screening [Text] / Andreev S., Zverychev V., Perov V. - M.: Nedra. – 1966. – 628 p.
5. Rozen V.P. Application of models based on the neural networks for solving of the multi-criteria management task of crushing-grinding complex / Rozen V.P., Kalinchik V.P., Meita A.V // Visnyk NTUU "KPI", series of "Mining", 2003, issue # 8. – p. 134-141.

УДК 621.311.1:621.9.263:681.51/54

О.В. Мейта, канд. техн. наук;

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРНОГО ПОЛЯ КУЛЬОВОГО МЛИНА

У роботі розглядається факторне поле кульового млина, яке дозволяє виділити основні фактори, що визначають роботу подрібнюючих агрегатів для створення на його основі нейромережевої моделі елементів дробильно-помольного комплексу. Показано, що об'єкт автоматичного регулювання типу «млин» математично описується інерційною ланкою першого порядку з урахуванням транспортного запізнення. Показано, що побудова керуючої нейронної мережі доцільна не тільки для всього комплексу в цілому, але і для окремих його елементів (етапів).

Ключові слова: факторний поле, нейромережева модель, подрібнення, кульовий млин.

Надійшла 20.10.2015
Received 20.10.2015