

Е. И. Назимко, докт. техн. наук,

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ЗАМКНУТЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ТРАНСПОРТНОГО ЗАПАЗДЫВАНИЯ ПОТОКОВ

Водно-шламовая схема углеобогатительной фабрики может быть представлена как граф при имитационном моделировании с учетом транспортного запаздывания потоков. Для исследования разработана новая компьютерная программа, алгоритм которой основан на создании нейронной сети.

Ключевые слова: водно-шламовая схема, углеобогатительная фабрика, граф, моделирование, транспортная задержка.

Водно-шламовая схема углеобогатительной фабрики может быть представлена как граф при имитационном моделировании с учетом транспортного запаздывания потоков. Для исследования разработана новая компьютерная программа, алгоритм которой основан на создании нейронной сети.

Ключевые слова: водно-шламовая схема, углеобогатительная фабрика, граф, моделирование, транспортная задержка.

Обогащение полезных ископаемых имеет особый приоритет на данном этапе развития техники и промышленности. Уголь является чрезвычайно важным сырьем для промышленности Украины и, в особенности, для энергетики и коксохимии. Государственная программа энерго- и ресурсосбережения предполагает необходимость повышения качества продукции углеобогатительных фабрик, максимального извлечения горючей массы и рационального водопотребления.

Эффективность обогащения и обезвоживания угля в значительной степени зависят от свойств воды - от ее вязкости и минерализации, которые могут изменяться в широких пределах при использовании оборотной воды, загрязненной шламом, солями, реагентами и флокулянтами [1].

Все сказанное выше приводит к возрастанию роли обогащения не только крупных и мелких классов угля, но и шламов. Кроме того, следует отметить увеличение удельного веса водно-шламовых процессов в технологиях переработки угля. На углеобогатительных фабриках с мокрыми процессами обогащения применяют оборотный цикл водоснабжения, причем система оборотного водоснабжения должна обеспечивать оптимально допустимое содержание твердого в воде.

Водно-шламовое хозяйство углеобогатительных фабрик представляет собой сложный комплекс [2]. В таких системах действует множество аппаратов разного назначения, соединенных транспортными магистралями и подающими установками. При этом показатели работы одного аппарата зависят от показателей работы остальных.

В связи с этим особую актуальность приобретает исследование поведения замкнутых технологических циклов, к которым относятся и водно-шламовые системы предприятий, в различных условиях.

В момент запуска системы и до выхода ее на стабильный режим большинство гидротранспортных установок функционируют в нестационарном режиме, что оказывает существенное влияние на изменение сепарационных характеристик классифицирующих аппаратов в сторону увеличения граничного зерна разделения и среднего вероятного отклонения [3, 4]. Это в свою очередь приводит к перераспределению тонкого и зернистого шлама по продуктам системы. При циркуляции этих потоков возрастает количество тонкого шлама в системе и как следствие повышается плотность и вязкость воды, что отрицательно сказывается на показателях работы не только гравитационного оборудования, но и таких операций как осаждение, флотация, фильтрование.

Целью данной работы является разработка метода исследования процессов, происходящих в замкнутых технологических системах в нестационарном режиме функционирования, а также с учетом транспортного запаздывания потоков.

Для упрощения и формализации рассмотрения система осветления оборотных вод представляется как граф, т.е. схема из точек (вершин), соединенных линиями. Вершины графа соответствуют отдельным узлам (аппаратам) системы, а роль ориентированных ребер (линий) выполняют трубопроводы, по которым движутся потоки продуктов и шламов (рис. 1).

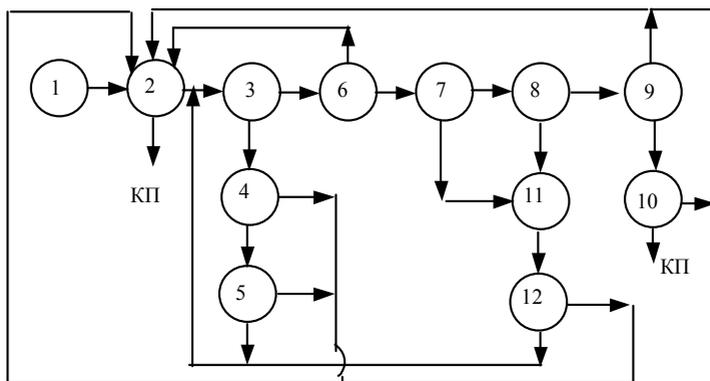


Рисунок 1. - Итерационная расчетная схема (граф):

- 1 – поступление рядового угля; 2 – гравитационное обогащение; 3 – сгущение и классификация шлама; 4, 6, 7, 9, 11 – узлы деления потока; 5 – обезвоживание на ГК-1.5; 8 – сгущение в ГК-1000; 10 – флотация, фильтрование концентрата и флокуляция отходов флотации; 12 – обезвоживание на ГК-3; КП – конечные продукты

Ориентированность указанного графа определяется однозначным направлением всех потоков. Некоторые вершины, например, гравитационное отделение и гидроциклоны, соединены более, чем одной дугой, т.е. граф является мультиграфом.

Анализ схемы осветления базируется на выделении Эйлеровых путей на ее графе, характеризующихся тем, что по каждой дуге проходят один раз. Такие пути позволяют проследить кинетику движения и накопления шламов. Всякий путь имеет вес, равный весу всех дуг, составляющих его [5]. В качестве весов дуг используются коэффициенты распределения шлама узлами [6]. Граф системы является антисимметрическим, т.к. все его вершины не имеют связей в прямом и обратном направлениях. Кроме того, граф является неполным, т.к. состоит из десятков узлов, а на каждый узел имеется от 1 до 4-5 связей, не более и каждый из них не соединен со всеми остальными. Таким образом, система осветления оборотных вод представляет собой неполный антисимметрический ориентированный мультиграф. Для описания графа системы осветления применен алгоритм построения независимых маршрутов [7], модифицированный применительно к простым маршрутам. Этот метод моделирования прошел успешную апробацию в горной промышленности и в других областях, где есть циркуляция и разделение продуктов [8-11].

Для исследования процессов, происходящих в системе осветления оборотных вод в нестационарном режиме, создан новый метод имитационного компьютерного моделирования. В модель включены все существенные входные и управляющие параметры: количество шлама на входе в систему, количество шлама, уходящего с конечными продуктами, коэффициенты распределения шлама узлами системы, скорости прохождения потоков по трубопроводам, емкостям и аппаратам, взаимосвязь узлов (топология) системы.

Программа, которая позволяет учитывать транспортное запаздывание потоков, написана на языке высокого уровня (Турбопascal) с использованием ссылочных типов. Методология создания программы основана на нейронной сети, являющейся частным случаем графа.

В последние годы в различных областях знаний возник интерес к прогнозированию работы разнообразных сложных систем, отдельных аппаратов, получения ожидаемых показателей и др. Значительный прогресс в этой сфере был достигнут на основе применения методов искусственного интеллекта и, в частности, нейронных сетей [12]. Идея прогноза показателей работы систем с помощью нейронной сети основана на принципе работы нейрона и высокой степени нелинейности преобразования сигналов, проходящих через него. На рис. 2 приведена схема абстрактного искусственного нейрона, на основе которого построено большое многообразие искусственных нейронных сетей.

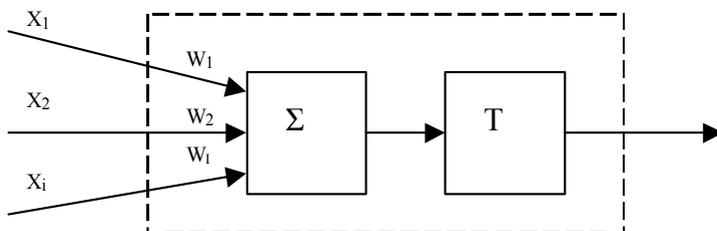


Рисунок 2 – Схема устройства искусственного нейрона

На вход нейрона можно подать произвольное количество сигналов X_i , которые после умножения на соответствующие весовые коэффициенты W_i алгебраически суммируются согласно простой формуле:

$$\text{Суммарный сигнал} = \text{Сумма } X_i W_i \quad (1)$$

Выходной сигнал формируется в блоке T, который обеспечивает нелинейное преобразование суммарного сигнала с помощью функций активации нейрона. Если суммарный сигнал ниже порогового значения, на выходе нейрона сигнал отсутствует. Если входной суммарный сигнал выше определенного уровня, выходной сигнал близок к единице. Искусственный нейрон предоставляет весьма широкие возможности для создания сложных прогнозных систем в виде нейронных сетей.

Программа для исследования поведения замкнутых технологических систем с учетом транспортного запаздывания потоков основана на алгоритме, построенном для реализации нейронных сетей. Однако, в отличие от работы обычной нейронной сети, здесь нет порога для прохождения сигнала и воспринимаются все входящие сигналы.

Для работы программы необходимо:

1. Представить исследуемую систему как неполный антисимметрический ориентированный мультиграф (рис. 1). При этом в целях более детального исследования можно представлять как узлы не только целые аппараты, но и часть аппарата или кусок трубопровода.

2. Создать специальный файл – список связей (звеньев), которые соединяют узлы графа. Файл содержит сведения о структуре сети – номера входящих и выходящих связей для каждого узла. Программа перебирает связи между узлами и в результате приходит в какую-то виртуальную точку, являющуюся узлом.

3. Создать второй исходный файл, который содержит: описание общих данных о структуре нейронной сети; начальное содержание шлама в узле; входящее в узел количество шлама и его колебания; период подачи входящего количества шлама и его флуктуации; количество циклов, в

течение которых узел держит в себе шлам (транспортная задержка); флуктуация транспортной задержки; коэффициенты распределения шлама; количество циклов счета (секунды).

За один цикл принимается реальное время движения порции материала по самому короткому быстродействующему звену.

Для каждого узла программа устанавливает указатель на первый элемент строки списка входящих номеров связей и на первый элемент строки выходящего номера связей. Компьютер формирует связанные списки входящих и выходящих звеньев. Образно связанный список записей и схему соединения узлов с использованием кольца связанных записей-порций можно представить в виде, показанном на рис. 3.

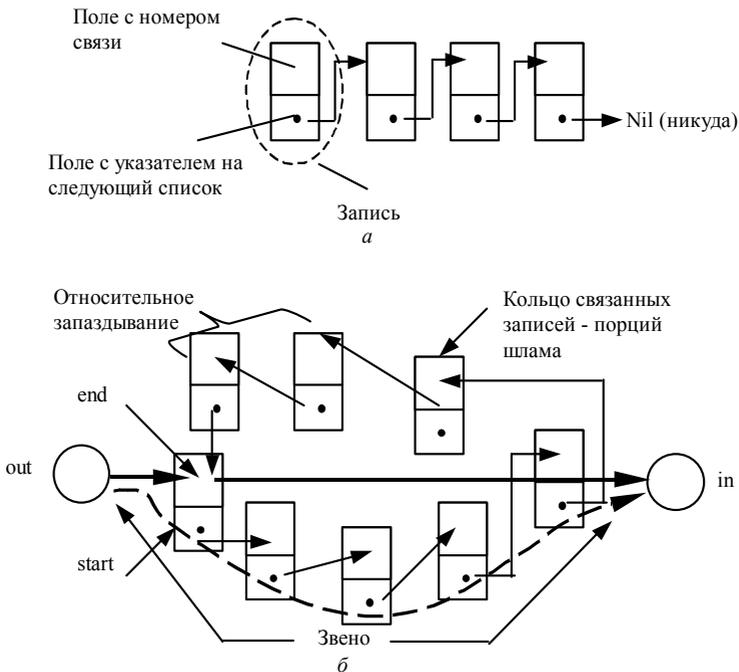


Рисунок 3 – Условное образное изображение связанного списка записей (а) и схема соединения узлов с использованием кольца связанных записей-порций, соответствующих инерционности поступления порций в узел in из узла out (б)

Программа создает замкнутые кольца указателей на записи. Каждая запись содержит поле значения порции шлама, вышедшей из аппарата за один элементарный цикл (самый короткий) и номер связи, а также и поле указателя на такую же следующую запись (рис. 3, а). Предварительно этот

указатель устанавливается на следующую запись. В момент запуска программы поля значений порций шлама являются пустыми.

Список формируется в любом порядке. Указатели на начало записей сохраняются в реальных массивах. При необходимости обработки какого-то звена программа, перебирая список записей, добирается до нужной записи.

Ссылочный подход реализует динамические принципы распределения памяти, т.е. размер массива может изменяться в процессе работы в зависимости от получаемых результатов (экономия памяти и ускорение работы программы).

В ходе работы программы вычисляются адреса концов всех звеньев, т. е. из какого узла звено выходит и в какой узел входит. В этих узлах от задержки получающего узла отнимается задержка узла-истока. Эта цифра вычисляется из технологической схемы – длина труб, скорость потоков, объем аппаратов и т.д. – и вводится в качестве исходных данных. Важна относительная задержка между конкретной парой узлов.

Запись, которая создается первой и назначается первой, на нее устанавливается специальный указатель начала, с которого самая «древняя» порция попадает в следующий, принимающий аппарат. Последняя запись по порядку создания назначается последней и на нее устанавливается специальный указатель конца. Следует отметить, что при замыкании цепочки связанных записей в кольцо указатели начала и конца указывают на рядом стоящие записи. Далее осуществляется корректировка установки указателя начала с учетом величины запаздывания в конкретном звене. Указатель начала передвигается так по ходу, чтобы между началом и концом было число порций (записей), равное значению относительного запаздывания в звене. Теперь можно начать расчет.

Накопление шлама рассчитывается следующим образом. Все узлы включаются в работу сразу и работают все время так, как это имеет место в реальности. Они сразу же выдают в систему всю пульпу. Но у запаздывающих узлов еще нет ничего, кроме чистой воды. Поэтому и их порции тоже сначала пустые и реальные коэффициенты распределения умножаются на нули, и нули же передаются дальше. Таким образом, все происходит как в реальной системе. И только через какое-то время в «отстающих» аппаратах появляется шлам. Компьютер запоминает все элементарные порции, которые движутся в системе. Запоминание осуществляется в кольцах связанных записей. Результаты расчета обрабатываются электронными таблицами.

Эта же программа позволяет определять количество шламов в потоках без учета транспортного запаздывания. Для определения достоверности моделирования было проведено контрольное исследование на примере одной из водно-шламовых схем действующих фабрик. Эта система исследовалась ранее с помощью другой компьютерной программы [8, 11], а также выполнялись аналитические вычисления по инженерной методике

расчета [2]. Результаты сравнительных расчетов для различных потоков совпадают, что подтверждает возможность использования программы на основе нейронных сетей для моделирования и исследования работы сложных технологических систем.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на определение рациональных вариантов топологии сложных систем с учетом транспортного запаздывания потоков.

Список литературы

1. Обратное водоснабжение углеобогажительных фабрик / И.С. Благов и др. - М.: Недра, 1980. – 216 с.
2. Проектирование углеобогажительных фабрик / И.И. Зозуля, Е.И. Назимко, Г.В. Самойлик и др. - К.: УМК ВО, 1992. - 284 с.
3. Пилов П.И. Анализ сепарационных эффектов в полидисперсных суспензиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 1997. - №4. - С. 79 - 82.
4. **Звягильский Е.Л., Блюсс Б.А., Назимко Е.И., Семенов Е.В.** Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углеобогащения. Донецк. - Норд Компьютер. – 2002. – 248с.
5. Nazimko L.I., Nazimko V.V. A Simulation of Slime Circulation and the Effect of Circuit Design // Coal preparation. - 1996. -V 17.- N 3-4. - P. 215-232.
6. Назимко Е.И. Термодинамический анализ работы водно-шламовой схемы // Изв. вузов. Горный журнал. - 1996. - N1. - С.144-147
7. **Цой С., Цхай С.М.** Прикладная теория графов. - Алма-Ата: Наука, 1971. -500с
8. Назимко Е.И. Автоматизированный анализ работы систем осветления оборотной воды углеобогажительных фабрик // Обогащение полезных ископаемых. - Киев: Техніка, 1989. - N 39. - С. 126-131.
9. А.с. 1487992 СССР, МКИ³ В 03 В 13/00. Способ регулирования водно-шламовых процессов углеобогащения / В.В. Митлаш, Е.И. Назимко, В.В. Назимко, А.К. Набоков. - Опубл. 23.06.89. Бюл. N 23.
10. Назимко Е.И., Верченко В.И., Ерхова О.В. Планирование сделки в условиях неопределенности. Динамическая модель. // “Бизнес-информ”. – 1998. - №8. – С. 57-62.
11. **Назимко Е.И., Гарковенко Е.Е.** Совершенствование работы систем осветления оборотных вод углеобогажительных фабрик. – Днепропетровск: Полиграфист, 2000. – 174 с.
12. **Kasabov N.K.** Foundations of neural networks, fuzzy systems, and knowledge engineering.-Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1998-550 p.

*Надійшла до редколегії 20.04.2004 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*