

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА
ПРОСЕИВАНИЯ ВЛАЖНОГО ЩЕБНЯ С ПОМОЩЬЮ
ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Визначено область значень амплітуди й частоти коливань поверхні, що просіває, при яких відбувається просівання волого щебеню. Процес просівання розглянутий з урахуванням дії на частку сили поверхневого натягу рідини. Моделювання виконане за допомогою штучної нейронної мережі

**DEFINITION OF DYNAMIC PARAMETERS OF PROCESS
SCREENINGS OF WET BREAKSTONE BY MEANS OF
ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

The range of values of amplitude and oscillation frequency of a sieving surface at which there is a screening wet breakstone is defined. Process of screening is considered in view of operation on a corpuscle of a surface tension force of a fluid. Simulation is executed by means of an artificial neural network

В гражданском и промышленном строительстве, а также при строительстве автомобильных и железных дорог требуются большие объемы гранитного щебня. Производительность среднего гранитного карьера составляет около 800 тыс. тонн в год. При производстве щебня для классификации по крупности широко используется вибрационное грохочение. Следует отметить, что добыча, переработка и складирование производятся, как правило, под открытым небом. Отсюда большие колебания влажности сырья, которые существенно влияют на эффективность классификации, что, в конечном итоге, отрицательно сказывается на энерго- и ресурсосбережении, а также загрязнении окружающей среды.

По данным работы [1] при мелком грохочении увеличение влажности с 3 до 20 % эффективность уменьшается в 1,3–1,5 раза. В этой же работе приведен обзор исследований, посвященных изучению влияния влажности на процесс грохочения. Эффективность грохочения зависит от вероятности просеивания. В монографии [2] приведены различные методы определения вероятностей просеивания сухого сырья. При грохочении же влажного сырья важно обеспечить такой режим вибровозбуждения, при котором частица, попавшая в отверстие просеивающей поверхности, преодолевает поверхностное натяжение жидкости. В статье [3] приведены результаты экспериментов по определению требуемой амплитуды и частоты для просеивания влажного щебня. Однако в ней отсутствует математическое обобщение полученных результатов. В этой связи цель работы – математическое описание области режимов вибровозбуждения, при которых происходит просеивание влажного сырья.

При выборе амплитуды и частоты вибровозбуждения просеивающей поверхности мы должны определить произойдет преодоление сил поверхностного натяжения или нет (события ДА/НЕТ). Имеет место в статистическом смысле задача классификации – отнесение наблюдения к одному из нескольких, зара-

нее известных классов событий. Для ее решения использовались искусственные нейронные сети (коннекции) прямого распространения, в которых входные сигналы (переменные) последовательно проходят через все нейроны и после преобразований напрямую подаются на выходы. Применялся наиболее изученный трехслойный персептрон, состоящий из трех слоев нейронов: входного, скрытого и выходного (рис. 1). Многослойный персептрон позволяет описать сколь угодно сложные границы принятия решения и реализовать произвольные булевы функции [4, 5].

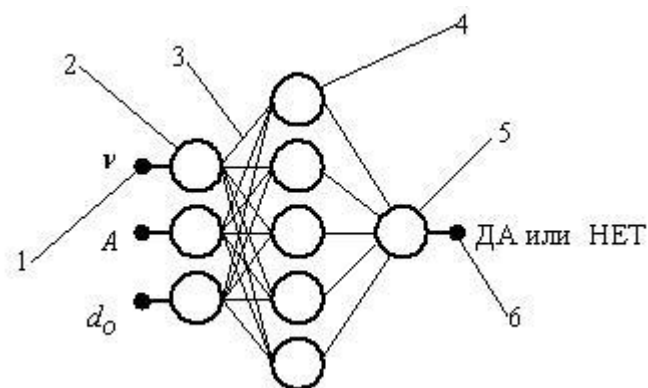


Рис. 1 – Схема трехслойного персептрона
 1 – вход; 2 – входной нейрон; 3 – связь; 4 – нейрон скрытого слоя;
 5 – выходной нейрон; 6 – выход

Количество нейронов входного слоя соответствует количеству входных переменных сети. Задача нейронов этого слоя – распределение входных сигналов по нейронам скрытого слоя (суммирования и вычисления функции активации в них не происходит).

Количество нейронов в скрытом слое может быть различным и часто подбирается экспериментально. Слишком малое количество скрытых нейронов приводит к недостаточной способности сети к обобщению. Излишне большое количество вызывает увеличение времени обучения и уменьшает быстродействие.

Нейроны выходного слоя формируют выходные сигналы, их количество равно количеству выходов.

Сигналы поступают в нейрон через входные каналы. С каждым входом сопоставляется коэффициент (вес), на который умножается входной сигнал. Этот коэффициент еще называют весом синаптической связи.

Состояние j -го нейрона определяется зависимостью [4, 5]

$$s_j = \sum_{i=1}^N w_{ij} x_i + w_j,$$

где w_{ij} – вес синаптической связи, идущей от нейрона i к нейрону j ; x_i – входные сигналы ($i=1, 2 \dots N$); w_j – пороговое значение.

Далее нейрон с помощью функции активации F значение s_j преобразует в выходной сигнал. В качестве функции активации наиболее широко используют функции: ступенчатую, сигмоидную, гиперболического тангенса. Таким образом, нейрон производит нелинейное преобразование вектора x в выходной сигнал y_i .

Для того чтобы нейронная сеть решала конкретную задачу классификации необходимо определить неизвестные значения весов и порогов сети, которые являются ее памятью. В теории нейронных сетей эта процедура называется обучением сети. Разработано большое количество алгоритмов обучения [4, 5]: обратного распространения, сопряженных градиентов, Левенберга-Маркара и др.

Нейронная сеть работает в двух режимах:

- обучения, когда по экспериментальным данным корректируются веса таким образом, чтобы выходные расчетные сигналы соответствовали с допустимой ошибкой экспериментальным;
- численного экспериментирования, когда на вход обученной сети подаются сигналы, а на выходе получают результаты вычислений.

Нейронные сети создавались с помощью программы «Нейронные сети». Входных переменных три: амплитуда A и частота ν вибровозбуждения, а также диаметр отверстий d_o просеивающей поверхности. Выходная переменная одна. Ее значение ДА (просеивание происходит) или НЕТ (просеивание не происходит). При обучении использовались 140 соответствующих значений входных и выходных переменных (образцов), полученных в результате эксперимента для частиц, размер которых составляет 0,8–0,95 от диаметра отверстия [3]. В качестве функции активации использовалась сигмоидная функция [4, 5]

$$F(s_j) = \frac{1}{1 + \exp(-k \cdot s_j)},$$

где k – параметр, определяющий крутизну функции активации.

Обучение выполнялось по алгоритму обратного распространения ошибки, который основан на градиентном методе оптимизации. Проверка эффективности обучения проведена на 70 дополнительных образцах. В результате оценивается способность сети обобщать полученную информацию.

Характеристики десяти лучших нейронных сетей приведены в табл. 1. Точность моделирования характеризуется ошибкой и показателем качества. Под ошибкой понимается среднеквадратическое отклонение, нормируемое на количество наблюдений и переменных. Показатель качества – доля правильно классифицированных образцов.

Наилучшей признана десятая модель (трехслойный персептрон с пятью нейронами в скрытом слое), у которой рациональное сочетание ошибки и показателя качества. Ее пороговые значения и веса приведены в таблицах 2–4.

Таблица 1 – Характеристики нейронных сетей

| Номер модели | Тип сети | Количество скрытых элементов | Ошибка | Показатель качества |
|--------------|------------|------------------------------|-----------|---------------------|
| 1 | Персептрон | 6 | 0,004476 | 0,7142857 |
| 2 | Персептрон | 7 | 0,0005847 | 0,7142857 |
| 3 | Линейная | 0 | 0,3863981 | 0,5714286 |
| 4 | Линейная | 0 | 0,4201992 | 0,7142857 |
| 5 | Персептрон | 2 | 0,1911215 | 0,8571429 |
| 6 | Персептрон | 11 | 0,138972 | 1,0 |
| 7 | Персептрон | 13 | 0,1042488 | 1,0 |
| 8 | Персептрон | 8 | 0,0889379 | 1,0 |
| 9 | Персептрон | 10 | 0,0819891 | 1,0 |
| 10 | Персептрон | 5 | 0,03926 | 1,0 |

Таблица 2 – Пороговые значения для трехслойного персептрона

| Номер слоя | Номер нейрона в слое | | | | |
|------------|----------------------|-----------|-----------|----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2 | 3,763654 | -6,427408 | -0,092000 | 4,970962 | -4,136107 |
| 3 | -9,494135 | – | – | – | – |

Таблица 3 – Синаптические веса для второго слоя трехслойного персептрона

| Переменная | Номер нейрона во втором слое | | | | |
|-----------------------|------------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Частота, Гц | 4,135925 | -0,277400 | 2,529888 | 24,71575 | -0,170300 |
| Амплитуда, мм | 20,80506 | -4,128055 | -1,211251 | 2,715179 | -2,427451 |
| Диаметр отверстия, мм | -1,693842 | -5,891755 | -3,480005 | 4,999282 | -3,890168 |

Таблица 4 – Синаптические веса для третьего слоя персептрона

| Номер слоя | Номер нейрона во втором слое | | | | |
|------------|------------------------------|----------|----------|-----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3 | -24,12232 | 12,43868 | 6,162185 | -23,88475 | 11,13688 |

С помощью созданной нейронной сети были выполнены численные эксперименты. На ее вход подавались значения амплитуды, частоты и диаметра отверстия, а на выходе получали значение ДА (силы поверхностного натяжения

преодолеваются) или НЕТ (альтернативное событие). Графическое обобщение результатов численных экспериментов представлено на рис. 2.

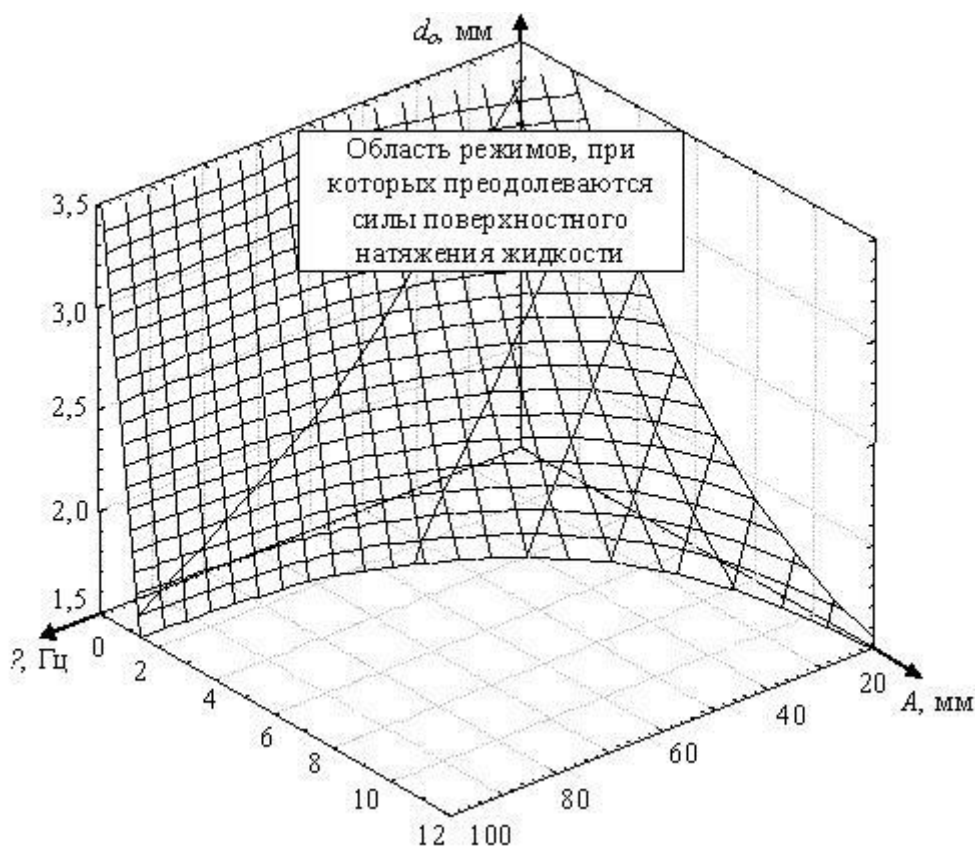


Рис. 2 – Область режимов, при которых происходит просеивание (преодолеваются силы поверхностного натяжения)

Итак, разработана искусственная нейронная сеть, которая позволяет определить амплитуду и частоту вибровозбуждения просеивающей поверхности, при которых обеспечивается просеивание важного щебня.

Результаты планируются использовать для автоматизации управления процессом грохочения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надутый, В.П. Вибрационное грохочение горной массы повышенной влажности [Текст] / В.П. Надутый, В.В. Калиниченко. – Днепропетровск: НГУ Украины. 2004. – 135 с.
2. Надутый, В.П. Вероятностные процессы вибрационной классификации минерального сырья [Текст] / В.П. Надутый, Е.С. Лапшин. – К.: Наукова думка, 2005. – 180 с.
3. Надутый, В. П. Экспериментальное определение динамических параметров процесса просеивания влажного минерального сырья [Текст] / В. П. Надутый, Е. С. Лапшин, Л. Н. Прокопишин // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ. – Вип. 74. – 2008. – С. 3–7.
4. Каллан, Р. Основные концепции нейронных сетей [Текст] / Р Каллан. – М.: Вильямс, 2003. – 288 с.
5. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации [Текст] / С. Осовский. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.